

# TESIS DE MÁSTER

## Máster

**Máster en Ingeniería Estructural y de la Construcción**

## Título

**Aplicación de Metodología BIM, en el Ciclo de Vida de Estructuras Industriales para  
Instalaciones Mecánicas.**

## Autor

**José Francisco Borja Dousdebés**

## Tutor

**José Turmo Coderque**

## Intensificación

**Construcción**

## Data

**Septiembre de 2017**

## **Resumen**

Este proyecto nace de la necesidad de sustituir un sistema de estructuras, que por motivo de errores cometidos en las diferentes etapas de diseño y construcción, no cumplen con los objetivos para los cuales fueron diseñados y contruidos.

Para evitar cometer los errores en los que se incurrió en el proyecto anterior, se ha aprovechado el uso de la metodología BIM, y todos los beneficios que esta trae consigo. El proyecto se ha dividido en tres modelos: Modelo Estructural, se realiza el diseño de dos estructuras, una estructura para ensayo de sistemas monorriel, y una estructura con fines comerciales; Modelo Mecánico, se realiza el diseño del carro y Modelo Existente, el lugar donde debe ser instalada la estructura, se representará la nave industrial donde se debe realizar el proyecto.

Luego se realiza el análisis correspondiente de interacción entre los diferentes modelos para evitar interferencias y garantizar las distancias mínimas entre los mismos.

Finalmente se analizan las ventajas y desventajas de realizar este tipo de proyectos con la metodología BIM, para poder determinar las conclusiones y recomendaciones.

Palabras Clave: Metodología BIM, SolidWorks, Estructura Industrial, archivo IFC

## **Abstract**

This project arises from the need to replace the system of structures, which contained the errors during the design and execution what lead to incorrect performance of above mentioned structures.

For this project it was decided to utilize BIM methodology in order to improve the design and execution phases. Firstly, the three models have been established and performed for this project: Structural Model, Mechanical Model and Architectural (warehouse) one. Structural Model consists of two structures which are commercial structure and structure for mechanical test. Mechanical Model contains trolleys with rail system and the Architectural one is represented by warehouse where the previously mentioned models are to be placed.

Finally, the complete performed BIM models would provide the possibility to highlight advantages of this methodology what, in author's opinion, would lead to more accurate results during the execution of the project.

Keywords: BIM methodology, SolidWorks, Industrial structure, IFC file.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, por sus bondades,

a mis padres, Ramiro Alfonso y María Mercedes, por su apoyo,

a mis hermanos, Ramiro, Santiago, Merche,

a mis abuelos Ramiro, Jaime, Augusta, Delia,

al tutor del presente trabajo, José Turmo,

a mis amigos, Sarah Ramírez, Aránzazu España, Carlos Soler, Andrés Santander, Stanislav Aidarov,

a cada uno de mis compañeros y amigos.

a todos los profesores que me han compartido de manera generosa su conocimiento.

Muchas gracias!

## Índice General

I Estado del conocimiento	4
1.1 Antecedentes históricos	4
1.2 BIM	5
1.3 Siete dimensiones BIM	6
1.4 Plan de ejecución BIM	6
1.5 Implantación BIM a nivel Mundial	7
1.6 Implantación BIM en España	8
1.7 Implantación BIM en el Ecuador	9
II Aplicación	11
2.1 Descripción del proyecto	11
2.2 Antecedentes del proyecto a realizarse	11
2.3 Planteamiento del proyecto con metodología BIM	17
III Fase de Gestión	19
3.1 Plan de ejecución BIM (BEP)	19
3.1.1 Información General	19
3.1.2 Información inicial del proyecto	19
3.1.2.1 Información general del Proyecto	20
3.1.2.2 Equipo principal del proyecto	21
3.1.2.3 Metas y objetivos del proyecto	22
3.1.2.4 Plan de coordinación y colaboración	23
3.1.2.5 Fases del proyecto	25
3.1.3 Plan de modelado	25
3.1.3.1 Administración de modelos	26
3.1.3.2 Planificación del modelo	26
3.1.3.3 Partes y componentes del modelo	34
3.1.3.4 Plan de modelado de acuerdo a las fases del proyecto	37
3.1.4 Plan de análisis	41
3.1.4.1 Modelos de Análisis	41
3.1.4.2 Plan de análisis detallado	42
3.1.5 Plan de Modelado Simultáneo	43
3.1.6 Plan de Colaboración	43
3.1.6.1 Gestión de documentos	43
3.1.6.2 Solución de administración de documentos	46
IV Modelo estado actual	47

4.1 Modelado de la estructura Existente	49
V Modelo mecánico	54
5.1 Carro	54
VI Modelo estructura	56
6.1 Estructura para ensayos	56
6.2 Estructura comercial	59
6.3 Detección de interferencias	61
6.4 Verificación de espaciamientos mínimos.	63
VII Discusión	65
7.1 Conclusiones	65
7.2 Recomendaciones	66
VIII Bibliografía	68

## Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Grafico desarrollado por SAGE (Augarten, Ticknor, 1984)	4
<i>Figura 2.</i> Dibujo realizado con Sketchpad (Roth, Chris, 2013)	4
<i>Figura 3.</i> Implantación BIM a nivel Mundial año 2016 (BuildingSmart, 2016)	7
<i>Figura 4.</i> Perfil de los profesionales que utilizan BIM en España (Masip, Jaume, 2017)	8
<i>Figura 5.</i> Expectativa de implantación total de BIM en España en comparación con UK (Masip, Jaume, 2017)	9
<i>Figura 6.</i> Porcentaje de Empresas por tamaño, del sector de la construcción en Ecuador (INEC)	10
<i>Figura 7.</i> Nave industrial donde se requiere el nuevo sistema	12
<i>Figura 8.</i> Vista general de la nave industrial	12
<i>Figura 9.</i> Circuito elevado para transporte monorriel	13
<i>Figura 10.</i> Uniones deslizantes atornilladas que han tenido que ser soldadas.	13
<i>Figura 11.</i> Desperdicios en la utilización de espacios.	14
<i>Figura 12.</i> Colocación de pilares improvisados.	14
<i>Figura 13.</i> Colocación improvisada de tensores	15
<i>Figura 14.</i> Apuntalamientos improvisados, para evitar vibraciones	15
<i>Figura 15.</i> Sujeción de la viga carril no coincide con el soporte de la estructura	16
<i>Figura 16.</i> Uniones estructurales no cumplen normativa	16
<i>Figura 17.</i> Refuerzo no estimados en el diseño	16
<i>Figura 18.</i> Desarme y desmontaje de la estructura.	17
<i>Figura 19.</i> Desperdicio en la gestión y almacenamiento de material desarmado	17
<i>Figura 20.</i> Exportación archivo IFC desde Revit.	28
<i>Figura 21.</i> Selección de formato IFC de exportación en Revit	28
<i>Figura 22.</i> Selección de carpeta de destino del modelo en IFC	29
<i>Figura 23.</i> Importar modelo en Solidworks.	29
<i>Figura 24.</i> Selección de modelo y formato a importar en Solidworks.	29
<i>Figura 25.</i> Verificación de modelo de origen (Revit), en el programa de destino (Solidworks).	30
<i>Figura 26.</i> Exportación archivo IFC desde CypeCad	30
<i>Figura 27.</i> Selección de formato IFC de exportación en CypeCad	31
<i>Figura 28.</i> Verificación de modelo de origen (Revit), en el programa de destino (Solidworks).	31
<i>Figura 29.</i> Verificación de modelo de origen (CypeCad), en el programa de destino (Revit).	32
<i>Figura 30.</i> Gestión de archivos y documentos	44
<i>Figura 31.</i> Formato A4	45
<i>Figura 32.</i> Cuadro de información de planos	45
<i>Figura 33.</i> Formato A3	46

<i>Figura 34.</i> Capas usadas en modelo existente	48
<i>Figura 35.</i> Plano vista de alzado, de la nave existente	49
<i>Figura 36.</i> Plano vista planta, de nave industrial existente	49
<i>Figura 37.</i> Vínculo archivo de AutoCAD con Revit	50
<i>Figura 38.</i> Visualización del contenido de AutoCAD en Revit	50
<i>Figura 39.</i> Gestión de vínculos de Revit	51
<i>Figura 40.</i> Definición del elemento muro	51
<i>Figura 41.</i> Definición de niveles en Revit.	52
<i>Figura 42.</i> Modelado de la nave industrial	52
<i>Figura 43.</i> Parte interior de la nave industrial	53
<i>Figura 44.</i> Carro	54
<i>Figura 45.</i> Bogie	54
<i>Figura 46.</i> Canasta	54
<i>Figura 47.</i> Estructura modelada en Cype	57
<i>Figura 48.</i> Exportar formato IFC desde CypeCad.	57
<i>Figura 49.</i> Selección de formato y fichero.	58
<i>Figura 50.</i> Abrir archivo IFC SolidWorks	58
<i>Figura 51.</i> Selección de archivo a ser importado en Solidworks.	58
<i>Figura 52.</i> Importación de modelo IFC a Solidworks.	59
<i>Figura 53:</i> Estructura comercial	60
<i>Figura 54:</i> Análisis de la ménsula, por MEF.	60
<i>Figura 55:</i> Análisis de unión Estructura-Viga, por MEF.	60
<i>Figura 56:</i> Selección de detección de interferencias.	61
<i>Figura 57:</i> Cálculo de interferencias.	61
<i>Figura 58:</i> Detección de interferencias.	62
<i>Figura 59:</i> Comprobación de interferencias.	62
<i>Figura 60:</i> Selección de herramienta Clearance verification.	63
<i>Figura 61:</i> Cálculo de espacios.	63
<i>Figura 62:</i> Comprobación de espacios y distancias mínimas.	64



## **Índice de Tablas**

Tabla 1: Programas de diseño utilizados en el Ecuador para la construcción	10
Tabla 2: Aprobación de BEP por parte de los responsables del proyecto	19
Tabla 3: Datos generales del Proyecto	20
Tabla 4: Equipo que participará en el proyecto	21
Tabla 5. Metas objetivos de los grupos de trabajo	22
Tabla 6: Plan de Coordinación	23
Tabla 7: Fases del proyecto	25
Tabla 8: Planificación	27
Tabla 9: Nombre de Archivos según el modelo	34
Tabla 10: Nivel de detalle (LOD) e información (LOI)	37

## Introducción

La necesidad de modelos 3D, en el campo de la arquitectura e ingeniería ha existido prácticamente desde sus orígenes, de ello, el arquitecto e ingeniero militar italiano, Francesco di Giorgio (1439-1502), señaló que:

“El papel insustituible del modelo tridimensional, a la hora de proyectar una máquina: por cuanto difícil sea, en dibujo toda cosa (conviene) demostrar, porque son muchas las variedades de las cosas interrumpidas y opuestas la una a la otra de las que vaya a ocupar y sin embargo es necesario hacer modelo casi de cada cosa”.

Esta idea en general, permite señalar la importancia de la representación de los modelos 3D en cada uno de los proyectos de ingeniería y arquitectura, y justifica el desarrollo de las herramientas tecnológicas orientadas a satisfacer esta necesidad; de ahí, la existencia de la metodología BIM en la actualidad.

La base de la metodología de BIM, es la realización de modelos 3D, que contengan la información necesaria y suficiente para poderlos llevar a la realidad, por lo tanto, estos modelos constituyen una expresión intelectual de quien los realiza, en consecuencia nace la necesidad de la formación y preparación, por parte de los involucrados en el uso de esta herramienta, y se justifica realización de estudios en esta área.

La metodología BIM, está cambiando la forma en que se realizan los proyectos dentro del área de ingeniería y arquitectura en general, ya que permite identificar y definir cada uno de sus elementos, para poder tomar decisiones sobre los mismos antes que estos se materialicen, así poder evitar fallos, costes innecesarios, y ahorrar tiempo. El carácter multidisciplinar de los proyectos en la actualidad, independientemente de sus dimensiones, costo de realización, o aplicaciones, recalca la necesidad del uso de esta nueva metodología de trabajo y la realización de proyectos con BIM.

## **Motivación**

Habitualmente se utiliza el sistema BIM, en el diseño de edificaciones, y en función de estas, se diseñan las instalaciones que esta contendrá, sin embargo en el proyecto que se desarrolla a continuación, la estructura es parte constitutiva de una instalación de transporte, donde es la estructura la que debe satisfacer los requerimientos impuestos por los demás componentes de la instalación, lo que permite observar el uso de BIM desde otra perspectiva: la realización del modelo estructural a partir del modelo de aquello que en ella se instalará.

Cuando se realiza proyectos con el sistema BIM, comúnmente el modelo arquitectónico es el que gobierna el diseño de los demás modelos, sin embargo en el presente proyecto, el modelo que rige el diseño de los demás, es el diseño industrial mecánico.

Es común en los proyectos donde se utiliza BIM, generar el modelo arquitectónico en un programa determinado (Revit el más usual), e incorporar o vincular los demás modelos en él, o seleccionar un programa especializado para este propósito (Navisworks entre los más difundidos), y de esta manera poder observar el proyecto en su conjunto y realizar una serie de análisis, pero en este proyecto se realizará la incorporación de los modelos, en el programa de diseño industrial.

Otro aspecto es motivar el uso del BIM donde aún no se adopta oficialmente una normativa como el caso de Ecuador, de ahí que este proyecto sirve como precedente en el uso de esta herramienta a pesar de esa carencia de normativa.

Para aportar en el crecimiento del uso y desarrollo BIM, se presenta en este trabajo, un proyecto industrial multidisciplinar aplicando metodología BIM.

## **Objetivos**

Los objetivos que se desean alcanzar con el presente estudio son los siguientes:

Mostrar la aplicación de la metodología BIM, en el diseño de estructuras industriales para instalaciones mecánicas. Utilizar como plataforma BIM, el programa de diseño industrial, para incluir en él los modelos estructurales y arquitectónicos.

Para lograrlo, se seguirá la metodología que se describe a continuación.

Diseño de un sistema de transporte elevado para la industria en general, y la industria de la logística en particular.

Para alcanzar los objetivos mencionados, se aplica la siguiente metodología:

## **Metodología**

Se diseñará el modelo del carro para transporte de carga y las partes que las constituyen (bogie, canasta), que debe trasladarse por un circuito formado por un sistema de rieles, a continuación se definirá el perfil estructural que servirá como riel, esta selección se realizará en función de la geometría del bogie, y de las cargas que debe soportar la misma.

Una vez diseñado el carro y seleccionada la riel, se diseñará la estructura, cuya geometría debe adaptarse a la nave industrial, dentro de la cual se construirá, y de las características del carro y el circuito de rieles.

Para realizar la unión de las diferentes partes del proyecto, se realizará el análisis de compatibilidad de los archivos IFC generados por cada programa, para poder concretar el uso de la metodología BIM.

## I Estado del conocimiento

### 1.1 Antecedentes históricos

En el año de 1955, en el Instituto de Tecnología de Massachusetts de Estados Unidos de Norte América, se desarrolla el sistema gráfico SAGE (Semi Automatic Ground Environment), utilizado por la fuerza aérea porque permitía procesar datos y transformarlos en gráficos, de manera que se podía visualizar la información adquirida por el radar u otros medios de adquisición de datos de posición. Este aún sistema no es considerado un programa de diseño asistido por computador, pero ya permitía la visualización de gráficos en una pantalla.

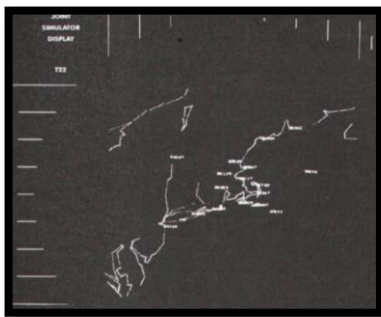


Figura 1. Grafico desarrollado por SAGE (Augarten, Ticknor, 1984)

En el año de 1963 se desarrolla Sketchpad, el primer programa para ordenador, que sería el predecesor de los programas CAD, como resultado de la tesis doctoral de Iván Edward Sutherland. Este programa ya poseía características de los programas CAD actuales, incluso permitía la realización de dibujos en 3D.

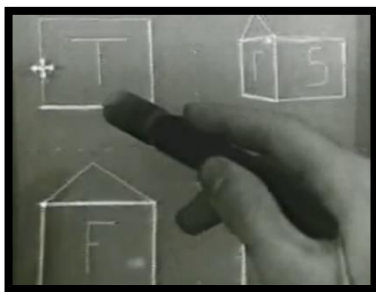


Figura 2. Dibujo realizado con Sketchpad (Roth, Chris, 2013)

Charles Eastman, en el año 1974, toma en consideración la falta de información existente en los diseños arquitectónicos realizados con los sistemas CAD de la época, por lo que desarrolla el Building Description System (BDS), que permitía el diseño paramétrico de modelos 3D, y que ya contenía características semejantes a los programas actuales de BIM.

El BIM como se lo conoce hoy en día, surge en el año de 1982, gracias Gábor Bojar, fundador de la empresa Graphicsoft, donde decidieron adaptar las herramientas de diseño de tuberías y ductos, para poderlas utilizar en el diseño arquitectónico, como resultado de esta adaptación aparece ArchiCAD. Leonid Raiz, en el mismo año en que Gábor desarrolla Revit. En este mismo año aparece AutoCAD. A partir de aquel año ha surgido el desarrollo de los programas que se utilizan en industrias con diferentes aplicaciones y constituyen herramientas BIM.

En el año 1994, Autodesk, estudia la posibilidad de realizar un programa que permita el desarrollo de diferentes aplicaciones de manera integrada; en el año 1995, Autodesk continúa con esta iniciativa, y junto con doce empresas de Estado Unidos, forma un consorcio de empresas llamado Industry Alliance for Interoperability,

## **1.2 BIM**

El modelado de información de la construcción, (BIM acrónimo en inglés), es una metodología de trabajo utilizada para la gestión de proyectos en cada una de las etapas de su ciclo de vida.

Se considera a BIM como un conjunto de herramientas y metodologías de trabajo cuya característica principal es el uso de “información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar” (Coloma, 2008, P.10)

La definición de BIM ha ido evolucionando conforme ha ido evolucionando la tecnología y el alcance de sus aplicaciones, de ello que no existe definición única de BIM.

También se puede definir a BIM como “una metodología de trabajo que tiene un componente tecnológico consustancial: nuevas herramientas informáticas”. (Zaragoza, Núñez, 2016, P.16)

Otro concepto por el cual se puede referir a BIM, es el que lo describe como “un proyecto, así como un proceso de simulación”, (Kymmell, 2008, P.25).

Lo importante es señalar que a pesar de las “varias definiciones, BIM es uno solo” (Deutsch, 2011), y que, las definiciones de BIM más difundidas llegan a considerar a BIM, una herramienta así como un proceso.

La metodología BIM, se basa en la generación de un modelo virtual 3D, a través de un programa de desarrollo paramétrico, que permite el acceso a todos los participantes de desarrollo del proyecto, para trabajar de forma simultánea sobre el mismo.

“BIM es la simulación de un proyecto que consiste en modelos 3D, de los componentes de un proyecto, con vínculos a toda la información requerida, conectada con el director de proyectos, el constructor, operador, y supervisor”. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011, P. 28), aspecto que facilita el trabajo multidisciplinar, así como la administración de recurso y su optimización, durante todo el tiempo de vida útil del proyecto, inclusive su desconstrucción, renovación o reciclaje ya que “BIM simula la construcción del proyecto en un entorno virtual.” (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011, P. 27), en el que se puede visualizar a detalle cada parte del proyecto.

A pesar que BIM se basa en modelos 3D se debe considerar la generación de documentación en 2D, puesto que permite mantener una buena comunicación entre los miembros que participan de un proyecto en la actualidad.

### **1.3 Siete dimensiones BIM**

La metodología BIM consta de siete dimensiones, y son las siguientes:

- 1D propuesta del proyecto
- 2D diseño de planos tradicionales o bocetos
- 3D modelo en 3 dimensiones de la edificación, que constituye la base de la metodología BIM
- 4D programación del tiempo necesario para la realización del proyecto
- 5D análisis y estimación de costos
- 6D gestión de sostenibilidad
- 7D gestión de la operación de la estructura.

### **1.4 Plan de ejecución BIM**

El plan de ejecución BIM (BEP) es el documento principal, que gobernará el desarrollo de la metodología BIM.

En este plan, se colocan los objetivos, la manera en que se desean alcanzar los mismo, y con quien se cuenta para lograrlo.

La documentación en 2D permite en la actualidad mantener una buena comunicación entre los miembros que participan de un proyecto.

En la actualidad no existe una norma BIM generalizada de aplicación universal, aunque se están realizando trabajos con ese propósito. Sin embargo hay países en los que el desarrollo del BIM ha tenido grandes avances, por lo que han realizado sus propias normas y estándares, para poder orientar el trabajo dentro de sus propias reglamentaciones.

En la figura 3 se puede apreciar el estado de la implantación de BIM a nivel mundial, en el año 2016.

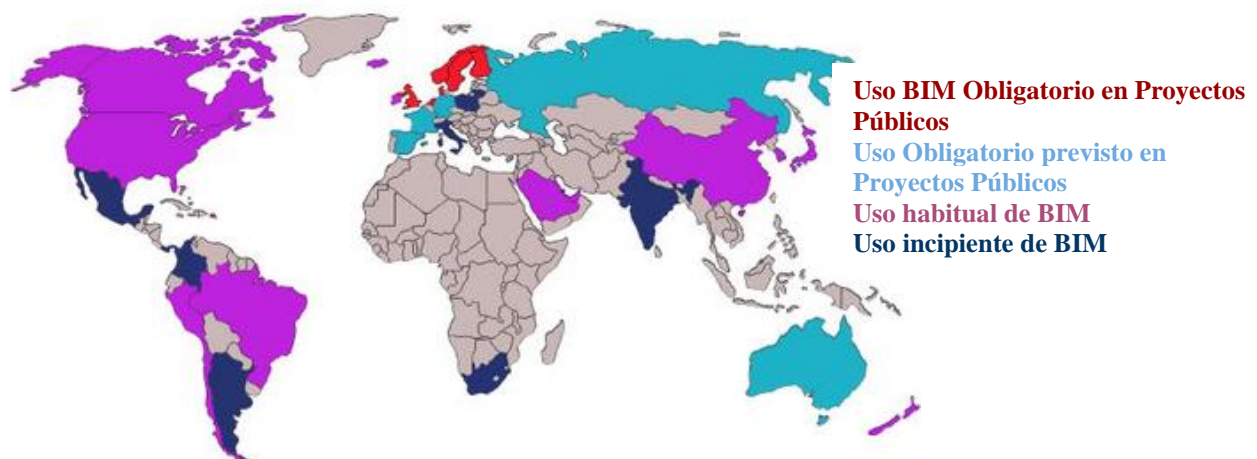


Figura 3. Implantación BIM a nivel Mundial año 2016 (BuildingSmart, 2016)



## 1.6 Implantación BIM en España

En España, se ha difundido el uso de la metodología BIM, incluso antes que la propia ley exija su uso, “cualquier profesional o empresa del sector de la construcción puede ser miembro -del capítulo español- BuildingSmats. En España su capítulo fue fundado en 2010” (Begoña Fuetes, Giner, 2014, P177)

En el año 2014 se constituye la comisión para la implantación de la metodología BIM en España, que forma parte del Ministerio de Fomento.

Se tiene previsto que para el año 2018, el uso de la metodología BIM en España sea de uso obligatorio, para licitaciones públicas de obras de edificación.

En España se ha difundido el uso de la metodología BIM en medio de los diferentes profesionales de la construcción, pero cabe destacar la aceptación entre los arquitectos, como se puede observar en la figura 4.

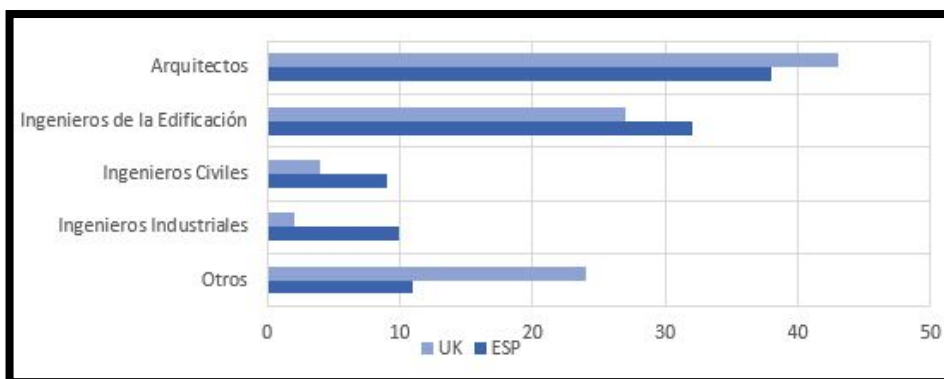


Figura 4. Perfil de los profesionales que utilizan BIM en España (Masip, Jaume, 2017)

Nota figura 4 y figura 5: datos obtenidos del “proyecto QBIMInvest financiado por la Universidad Europea de Madrid presentado y National BIM Report 20162 realizado por la compañía NBS” (Masip, Jaume, 2017).

La expectativa de implantación de BIM a corto y mediano plazo, es elevada, sin embargo sobre la implantación de esta metodología a largo plazo, es baja, contrario a lo que pasa en Reino Unido, que es el país de referencia del uso de BIM en la región, se puede observar en la figura 5.

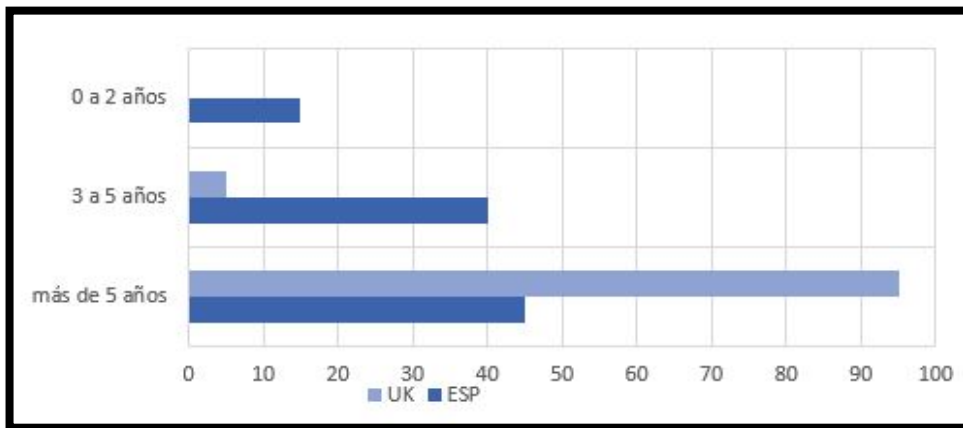


Figura 5. Expectativa de implantación total de BIM en España en comparación con UK (Masip, Jaume, 2017)

### 1.7 Implantación BIM en el Ecuador

Se debe tener en cuenta que la industria de la construcción en el Ecuador, es uno de los más importantes dentro de la economía nacional.

En el Ecuador, aún no existe ley ni normativa que exija o regule el uso de la metodología BIM, tanto en proyectos públicos como privados, a pesar que en varios proyectos públicos si se ha aplicado el uso de esta nueva herramienta.

Actualmente instituciones como las Cámaras de la Construcción, se encargan de difundir el uso de esta nueva tecnología a través de conferencias y cursos específicos.

Dentro de la industria de la construcción ecuatoriana, sólo el 58% de los profesionales, tiene conocimiento sobre herramienta y tecnología BIM.

Alrededor del 19% de empresas del sector de la construcción utilizan dentro de su organización la tecnología BIM.

Se debe considerar que a pesar que muchos profesionales utilizan programas que sirven dentro BIM, no aplican el uso de la metodología BIM en su totalidad.

A continuación se muestra la tabla 1, en la que se puede observar los programas más conocidos por los profesionales de la industria de la construcción en el Ecuador; en él se puede observar que entre los programas más conocidos, se encuentran programas CAD que no constituyen programas BIM, clara demostración de la falta de difusión sobre esta herramienta de trabajo.

Tabla 1:

Programas de diseño utilizados en el Ecuador para la construcción

Software	%
AutoCAD	100
SAP2000	88
Etabs	65
Tekla Structures	12
CypeCAD	23

En gran medida la falta difusión e implantación de BIM en el Ecuador, se debe a que las industrias de este sector que adquieren BIM son empresas medianas o grandes empresas y que representan menos del 4% de las empresas de este sector.

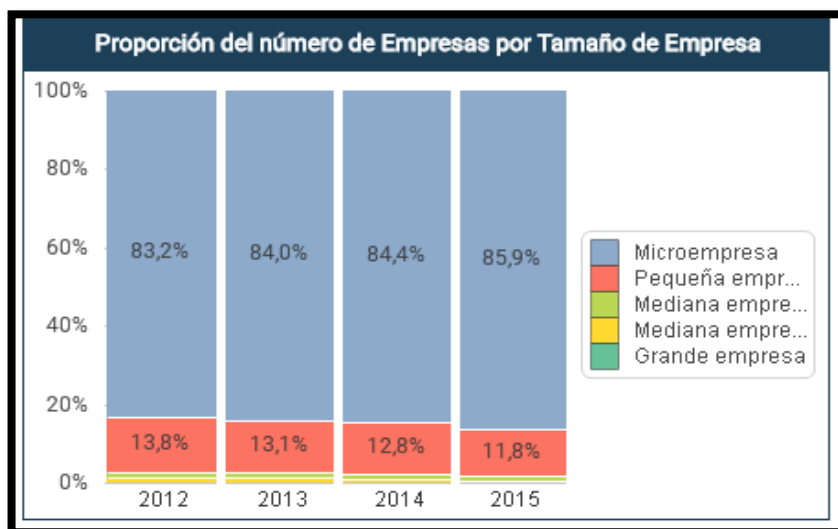


Figura 6. Porcentaje de Empresas por tamaño, del sector de la construcción en Ecuador (INEC)

A pesar que en el Ecuador se han realizado algunos proyectos públicos y privados mediante el uso de la tecnología BIM, aún no existe una normativa que regule su utilización.

Sin embargo en la actualidad existe difusión sobre la aplicación de la metodología BIM en el especialmente a iniciativas privadas.

Entre las instituciones que se han caracterizado por difundir el uso de esta metodología son las Cámaras de la Construcción de Quito y la de Guayaquil, así como centros educativos de nivel superior.

## **II Aplicación**

### **2.1 Descripción del proyecto**

Las actividades principales de la empresa para la cual se desea realizar el proyecto, son la investigación, desarrollo e innovación de sistemas de transporte elevado para la industria de la logística en general.

El sistema de transporte elevado, consiste en un carro constituido por un bogie, al que se acopla una canastilla que debe portar la carga a trasladar (Euro-box); este carro, realiza su recorrido colgando de un riel, que se encuentra sujeto a la estructura.

La estructura que soporta el riel, es una estructura modular, que permite adaptar el sistema a diferentes industrias; en la empresa se requiere instalar un sistema completo con esta estructura con el fin de mostrar a los posibles clientes en funcionamiento del sistema.

El carro, debe ser probado y evaluado permanente, por este motivo en la empresa se requiere una estructura, además de la mencionada en el párrafo anterior, donde se pueda instalar el sistema de transporte elevado, y que permita realizar las actividades de prueba, funcionamiento y mantenimiento, del circuito de rieles y del carro.

Por lo tanto el objetivo que da origen al presente proyecto, es el diseño dos sistemas de transporte elevado (carro, riel, uniones estructura-riel, estructura), uno para pruebas del sistema, y otro con fines comerciales.

### **2.2 Antecedentes del proyecto a realizarse**

En la empresa, se realizaron dos proyectos para satisfacer el objetivo que da origen al proyecto a realizar, pero estos presentaron problemas que evitan que los sistemas construidos cumplan el fin último para el cual fueron diseñados.

La estructura que se requiere sustituir, presenta errores de planificación, diseño, fabricación, construcción, debido a que no se utilizaron las herramientas y medios adecuados.

A continuación se muestran las imágenes, donde se señalan los principales errores que presenta la estructura actual, y que debe ser sustituida.

En las figuras 5 y 6 se puede observar la nave industrial en la que se instaló el sistema de transporte elevado, en la cual debe instalarse en nuevo proyecto que se desarrolle.



*Figura 7.* Nave industrial donde se requiere el nuevo sistema



*Figura 8.* Vista general de la nave industrial

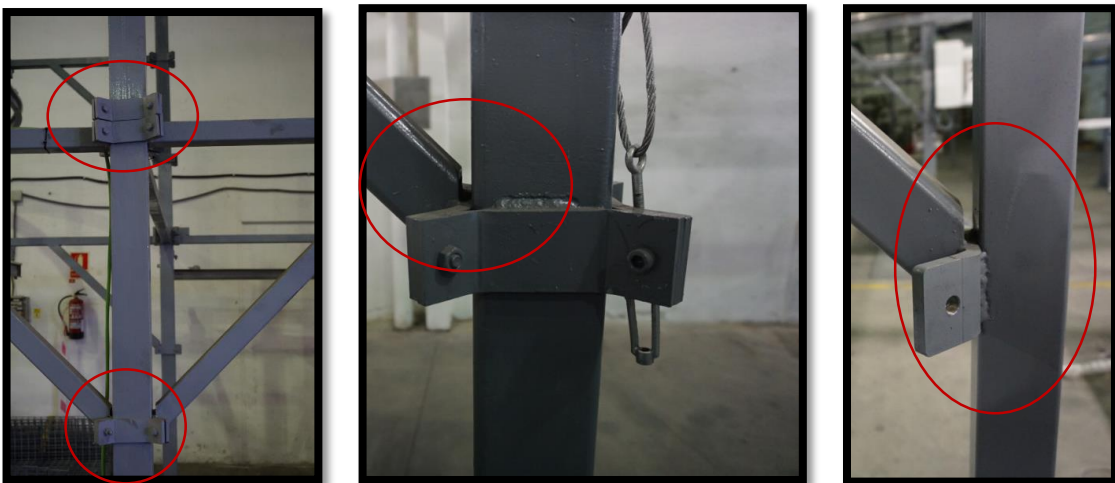
En la figura 9, se puede observar parte del circuito de vigas carrileras que debe soportar la estructura, este circuito tiene que ser modificado en el diseño de la nueva estructura.



*Figura 9.* Circuito elevado para transporte monorriel

En los párrafos a continuación se señalan los motivos por los cuales la estructura no satisface las necesidades de la industria debido a las deficiencias de la administración del proyecto durante el tiempo de vida de la estructura.

Como la estructura comercial, debe ser de fácil instalación y montaje, además que permita realizarse en corto tiempo, por tal motivo se idearon uniones atornilladas que lo permitan, sin embargo estas uniones, presentaron problemas debido que son juntas deslizantes, en la dirección de aplicación de la carga que deben soportar, en consecuencia se realizó cordones de soldadura no previstos para evitar deslizamientos y vibraciones. Además las placas utilizadas en la unión no eran de las dimensiones adecuadas, (figura 10).



*Figura 10.* Uniones deslizantes atornilladas que han tenido que ser soldadas.

Dentro de la nave industrial se instalaron una serie de estructuras para realizar pruebas de funcionamiento del sistema de transporte elevado, y otras para mostrar a los posibles clientes el funcionamiento del sistema, esto se lo realizó de manera inadecuada, puesto que existe desperdicio



de espacio, incluso hay estructuras que no se las utilizan. Una de las estructuras impide la circulación de máquinas dentro de la nave industrial, complicando las actividades que se deben realizar con regularidad dentro de la empresa, figura 11.



*Figura 11.* Desperdicios en la utilización de espacios.

Las estructuras presentaron problemas de estabilidad, por tal motivo se añadieron pilares improvisados, para soportar parte de del riel, figura 12.



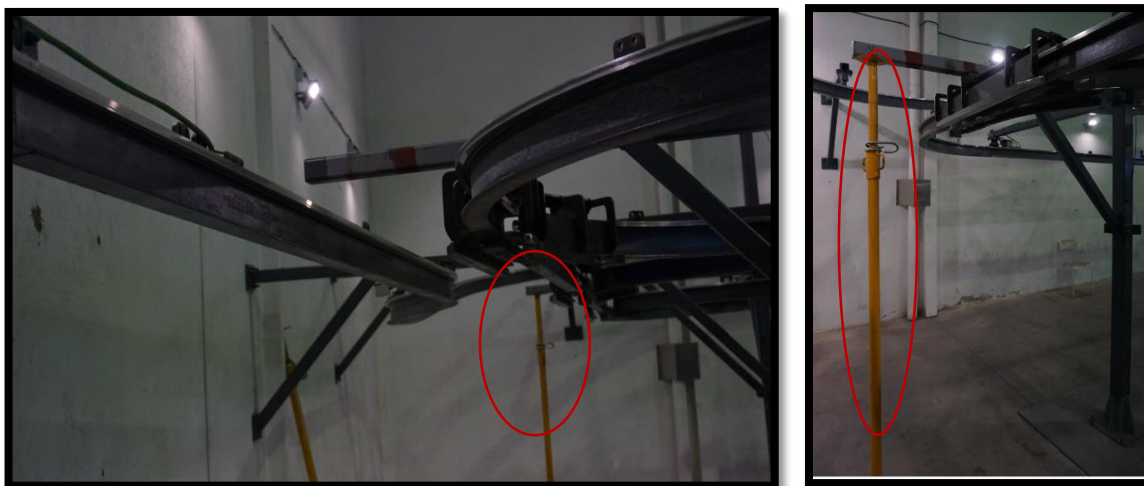
*Figura 12.* Colocación de pilares improvisados.

Para tratar de evitar deformaciones excesivas en la estructura, se improvisaron la colocación de tensores, figura 13.



*Figura 13.* Colocación improvisada de sensores

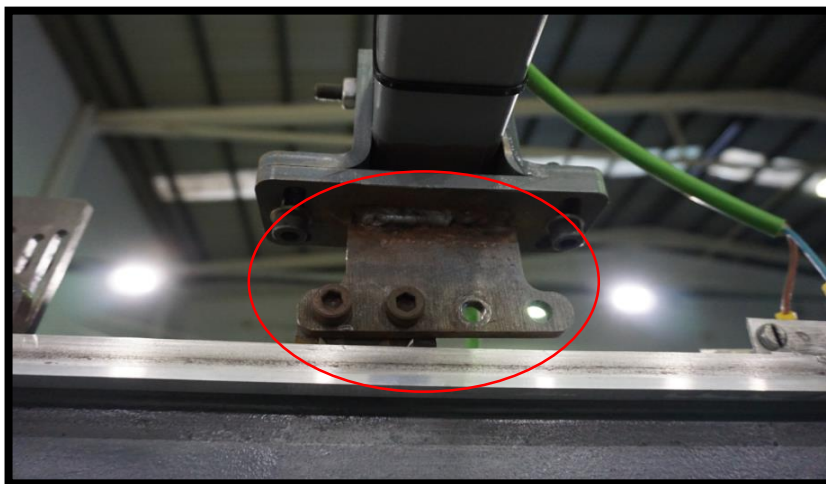
Cuando el sistema de transporte se pone en funcionamiento, genera vibraciones en la estructura generando la sensación de inseguridad, además de provocar deformaciones inadmisibles, incumpliendo los estados límites de servicio, por lo que se ha tenido que colocar puntales en diferentes zonas de la estructura.



*Figura 14.* Apuntalamientos improvisados, para evitar vibraciones

El sistema de unión entre el riel y la estructura, no ha sido diseñado correctamente por lo que no coinciden entre sí, figura 15.





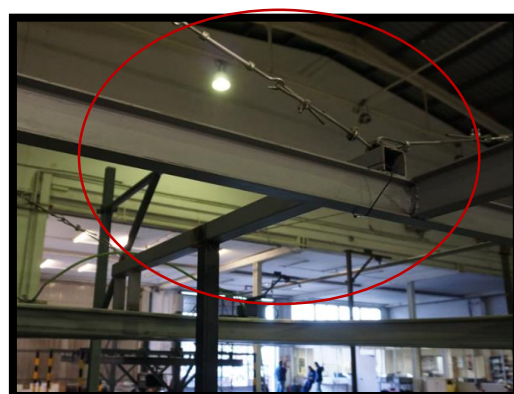
*Figura 15.* Sujeción de la viga carril no coincide con el soporte de la estructura

En algunos puntos donde el riel necesitaba apoyo, se han colocado uniones improvisadas para unirlo a la estructura, figura 16.



*Figura 16.* Uniones estructurales no cumplen normativa

En otros casos, para darle mayor rigidez a la estructura se ha soldado elementos, a los tubos estructurales que originalmente formaban ménsulas, figura 17.



*Figura 17.* Refuerzo no estimados en el diseño

Parte del ciclo de vida de la estructura son su desmontaje, reutilización o reciclaje, sin embargo los problemas que se han presentado en la gestión de la estructura, impiden su reutilización, en consecuencia la mayor parte del material será reciclado.



*Figura 18.* Desarme y desmontaje de la estructura.



*Figura 19.* Desperdicio en la gestión y almacenamiento de material desarmado

Las características de las estructuras existentes, y los errores que en ellas se han cometido, dan paso a la realización de un nuevo proyecto, con una metodología que permita anticipar

### **2.3 Planteamiento del proyecto con metodología BIM**

Se estudiará una estructura industrial para instalaciones mecánicas, la cual fue realizada sin utilizar la metodología BIM, que por falta de una buena gestión en cada una de las etapas de su vida útil, no satisface las necesidades para la cual fue construida, por lo tanto debe ser desmontada, para dar lugar a la construcción de una nueva.

Se planteará a través de la metodología BIM una propuesta, que sirva para reemplazar a la estructura ya existente, y que permita satisfacer las necesidades de la industria.

La empresa que requiere construir una nueva estructura, se encarga del diseño y desarrollo en general, de sistemas de transporte elevado para la industria.

Para la realización de trabajo según la metodología BIN, se requiere de la realización de un manual de estándares BIM. Como base para la realización de estándares BIM se puede “apoyar en guías y estándares BIM institucionales. De hecho en España se tiene la guía en castellano de este tipo: la Guía de Usuarios BIM, gracias al proyecto de la iniciativa uBIM en colaboración con BUILDING SMART”, (Zaragoza, Morea, 2016, Pp55.)

### III Fase de Gestión

#### 3.1 Plan de ejecución BIM (BEP)

Mediante las firmas que se presentan a continuación, se adopta y aprueba el Plan de Ejecución BIM.

Tabla 2:

*Aprobación de BEP por parte de los responsables del proyecto*

Descripción	Nombre	Firma	Fecha
Representante de la empresa			01/02/2017
Ingeniero Estructural			01/02/2017
Ingeniero Mecánico			01/02/2017
Administrador de Proyecto			01/02/2017

##### 3.1.1 Información General

El objetivo general del presente Plan de Ejecución BIM, es delinear un marco que permita a cada uno de los participantes del proyecto, la aplicación e implementación de la tecnología BIM, considerando normas y manuales de buenas prácticas profesionales, de manera eficiente.

En el presente plan se describen las principales funciones y responsabilidades de cada uno de los participantes, las características de la información que se compartirá durante el proyecto, los procesos más importantes que se llevarán a cabo, y el software que será utilizado en el desarrollo del proyecto.

El plan de ejecución BIM constituye el documento regulatorio que permitirá aplicar esta metodología.

##### 3.1.2 Información inicial del proyecto

A continuación, se describe la información general del proyecto, el equipo principal que participará del proyecto, se plantearán las metas y objetivos, el plan de coordinación, y se definirán las etapas del proyecto

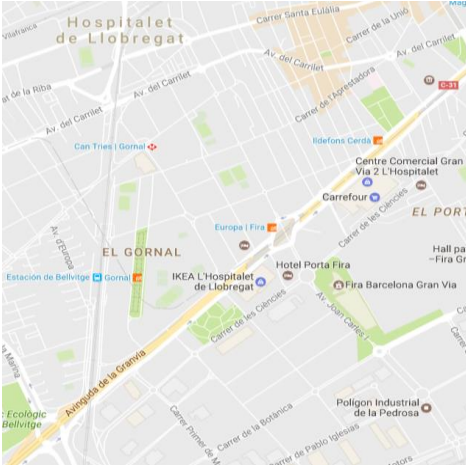
3.1.2.1 Información general del Proyecto

La información del proyecto que se requiere para dar inicio se describe brevemente en la tabla 3, la cual se suele colocar como primera página de los documentos que se generen durante todo el proyecto.

En esta se suele incluir información sumaria, que permita identificar de otros proyectos que se puedan estar realizando, constituye una ficha de identificación.

Tabla 3:

Datos generales del Proyecto

Datos Generales	
Nombre del Proyecto	Estructura para Instalaciones Mecánicas
Código del proyecto	001
Localización del proyecto	
Breve descripción del proyecto	Sistema de transporte elevado cuya estructura de acero, deberá soportar instalaciones mecánicas, destinadas al transporte elevado de cargas. La estructura de acero debe ser diseñada para ser construida al interior de una estructura industrial ya existente.

### 3.1.2.2 Equipo principal del proyecto

Se menciona el nombre de los responsables del proyecto, y quienes serán encargados de verificar el cumplimiento de cada una de las etapas y fases del proyecto, y la forma de contactarlos en caso que alguna persona del proyecto la requiera, será mediante correo electrónico, ver tabla 4.

Cuando se establecen los responsables del cada equipo, se determina que serán los encargados de canalizar la información del modelo que estén encargados de diseñar o dirigir su diseño. Por ello es importante señalar que la información que se genere o cambie durante un modelo, se actualice en el sistema de archivos establecidos, y además comunicarlo mediante correo electrónico, si este influye en el diseño de otro modelo, que ese establece más adelante (figura 20)

Tabla 4:

*Equipo que participará en el proyecto*

Equipo Principal				
Nombre de Contacto	Cargo	Título	Empresa	Correo electrónico
		Ingeniero Estructural	SI.B&D	franciscoborjad@gmail.com
		Ingeniero Mecánico	SI.B&D	franciscoborjad@gmail.com
		Asistente Contable	SI.B&D	franciscoborjad@gmail.com
		Asistente Contable	SI.B&D	franciscoborjad@gmail.com

### 3.1.2.3 Metas y objetivos del proyecto

A continuación se establecen las metas, los objetivos particulares principales que dan cumplimiento al objetivo general, que debe realizarse por cada uno de los equipos, la condición de cumplimiento, además del tiempo estimado que tienen para realizarlo, tabla 5.

Tabla 5.

*Metas objetivos de los grupos de trabajo*

Metas y Objetivo			
Metas	Objetivos	Condición de cumplimiento	Días estimados
Generar la información necesaria para dar inicio al proyecto	Levantamiento de información	Los grupos de trabajo estén conformados, y posean la información suficiente para	2
	Realización de cronograma	dar inicio al trabajo. Que los objetivos de las actividades de cada grupo de modelado estén definidos.	1
	Realización de flujograma de trabajo		1
	Organización de la documentación		1
	Designación de actividades y responsables		1
Diseñar estructuras para soportar el sistema de transporte	Diseño de estructura para ensayos	Que la información del diseño sea suficiente, para poder fabricar y construir las estructuras.	10
	Realización de planos		2
	Diseño de estructura comercial		10
	Realización de planos		2
Diseño de carro, para poder transportar la carga establecida.	Diseño de bogie		50
	Realización de planos		5
	Diseño de canasta	Que la información del diseño sea suficiente, para poder fabricar y construir el carro de transporte.	3
	Realización de planos		1
	Selección y diseño del riel		2
	Realización de planos		1
	Diseño de uniones y juntas		3
Diseño emplazamiento.	Realización de planos		1
	Diseño de la nave industrial existente	Que el diseño permita visualizar todo aquello que influencia en diseño del proyecto	2
	Realización de planos		1
Unión de modelos	Unión de los diferentes diseños	Que la información permita realizar una animación de la construcción del proyecto, y del resultado final	1
	Realización del desarrollo de montaje y construcción		5

### 3.1.2.4 Plan de coordinación y colaboración

Uno de los aspectos más importantes del BIM, es la del trabajo colaborativo, para que este se lleve a cabo de forma ordenada y coordinada, se detalla en la tabla 5, la función que cada agente del proyecto debe realizar en cada actividad de desarrollo del proyecto.

Tabla 6:

Plan de Coordinación

	<b>Representante del Cliente</b>	<b>Ingeniero Estructural</b>	<b>Ingeniero Mecánico</b>	<b>Administrador de Proyecto</b>
<b>Levantamiento de información, requerimientos, conceptualización</b>	Establecer las condiciones, función, forma, necesidades a resolver, calendario o programa estimado.	Realizar levantamiento de información relacionada con el lugar donde se requiere construir la estructura, forma, y plantear un primer concepto o pre diseño.	Realizar una primera aproximación del diseño de la máquina y las instalaciones que serán ser soportadas por la estructura.	Proveer información, sobre los costos aproximados que implica el desarrollo y construcción del proyecto. Verificar sobre el cumplimiento del calendario y programa.
<b>Consideraciones de diseño, diseño esquemático, pre diseño</b>	Realizar una revisión preliminar sobre los pre diseños, y aportar información más detallada, y verificar que se ajusten a los requerimientos iniciales.	Realizar un diseño más detallado a partir de las observaciones del cliente y miembros del equipo. Retroalimentar a los miembros del equipo.	Realizar ajustes al diseño según las observaciones del cliente y retroalimentación a los miembros del equipo, sobre rediseños y cambios.	Realizar una revisión general del diseño, actualizar estimación de costos, y verificar cumplimiento del calendario.
<b>Diseño a detalle/Nivel de desarrollo del diseño</b>	Revisar las características del diseño, verificar las longitudes generales del diseño, tanto estructural como mecánico.	Continuar con el diseño de la estructura, retroalimentar a los miembros del equipo. Señalar cambios realizados.	Continuar con el diseño de la estructura, retroalimentar a los miembros del equipo. Señalar cambios realizados.	Revisar el diseño en general, y verificar la retroalimentación entre disciplinas.



	<b>Representante del Cliente</b>	<b>Ingeniero Estructural</b>	<b>Ingeniero Mecánico</b>	<b>Administrador de Proyecto</b>
<b>Información de construcción e implementación</b>	Revisar la información conjuntamente con el administrador de proyecto.	Finalización del diseño, junto con la documentación necesaria para la construcción e implementación.	Finalización del diseño, junto con la documentación necesaria para la construcción e implementación.	Revisión de la información, de cada uno de los miembros del equipo.
<b>Coordinación entre las partes</b>	Facilitar el cumplimiento de lo establecido en la documentación del proyecto.	Asesorar en la procura de todo lo necesario para la estructura, para el cumplimiento del diseño.	Asesorar en la procura de todo lo necesario para las instalaciones mecánicas y máquinas, para el cumplimiento del diseño.	Realizar seguimiento del cumplimiento por parte de todos los miembros del equipo. Verificar cronograma.
<b>Construcción</b>	Realizar seguimiento sobre la construcción y aportar en las soluciones a posibles inconvenientes.	Auditar el cumplimiento de las especificaciones del diseño estructural.	Auditar el cumplimiento de las especificaciones del diseño mecánico.	Verificar el cumplimiento del avance de la construcción, ayudar en la solución de posibles inconvenientes.
<b>Gestión y administración de instalaciones</b>	Verificar el intercambio de información con las personas que serán responsables del proyecto y el administrador del proyecto.	Apoyar y facilitar a solventar dudas sobre el traspaso de información al cliente, sobre la estructura.	Apoyar y facilitar a solventar dudas sobre el traspaso de información al cliente sobre las instalaciones.	Facilitar el intercambio de información con quienes serán responsable del proyecto.

### 3.1.2.5 Fases del proyecto

Se deben establecer fases del proyecto y los responsables de verificar que estas se cumplan, esto permite llevar un control sobre el cumplimiento del cronograma y de las actividades al establecer las fechas de compromiso de cumplimiento de cada una de las fases, como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 7:

*Fases del proyecto*

Fases del Proceso			
Fases del Proyecto	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Participantes involucrados
Levantamiento de información, requerimientos, conceptualización	20/02/2017	13/03/2017	Ingeniero Estructural Representante del cliente Ingeniero Mecánico
Consideraciones de diseño, diseño esquemático, pre diseño	14/03/2017	28/03/2017	Ingeniero Estructural, Ingeniero Mecánico
Diseño a detalle/Nivel de desarrollo del diseño	29/03/2017	28/04/2017	Ingeniero Estructural, Ingeniero Mecánico
Información de construcción	31/04/2017	05/05/2017	Ingeniero Estructural, Ingeniero Mecánico
Coordinación entre las partes	08/05/2017	12/05/2017	Administrador de proyecto, representante del cliente
Gestión y administración de instalaciones			Administrador del proyecto

### 3.1.3 Plan de modelado

A continuación se señalan los modelos a ser diseñados en las diferentes etapas y fases del proyecto, también se indicará responsables de actualizar los modelos y darlos a conocer, así como se determinará el formato de los modelos. Esto permitirá realizar un trabajo más eficiente, en cada una de las fases.

### ***3.1.3.1 Administración de modelos***

Habitualmente cada una de las partes tanto propietario como contratista, deben designar un gestor o administrador de proyecto, que son responsables de contribuir con el modelo y su contenido.

El administrador o gerente de proyecto tiene las siguientes responsabilidades:

- La transferencia de información sobre el modelado, entre las partes
- Verificar el cumplimiento del nivel de detalle.
- Verificar y validar el contenido del modelo en cada una de las fases
- Vincular y reunir los diferentes modelos.
- Revisar el modelo junto con los demás miembros del equipo y coordinar el diseño del modelo.
- Mantener a los equipos comunicados, y darles a conocer de los problemas que se susciten.
- Llevar la nomenclatura de los archivos de manera correcta.
- Control sobre las diferentes versiones que se generan del proyecto.
- Llevar el almacenamiento de la información y el respaldo correspondiente

Estas actividades son las principales pero no las únicas del administrador de proyectos.

Dada las condiciones del actual proyecto, habrá sólo un administrador y gerente de proyecto.

### ***3.1.3.2 Planificación del modelo***

En la tabla que se muestra a continuación, se enlistan los modelos que se desarrollaran para el proyecto.

En ella se enlistan los nombres de modelo, aquello que contendrá el modelo, el software que se utilizará en el desarrollo del modelo.

Tabla 8:

*Planificación*

Planificación			
Nombre del Modelo	Contenido del Modelo	Fase del Proyecto	Software
Modelo Estado Actual	Información sobre la estructura industrial existente, dentro de la cual se requerirá construir la nueva.	Diseño esquemático y conceptualización	Autodesk Revit
Modelo Estructural	Diseño de la estructura de acero que soportará las instalaciones mecánicas	Diseño esquemático	Cype 3D
Modelo Mecánico	Diseño de las instalaciones mecánicas: boggie , circuito	Diseño esquemático	SolidWorks

El software que se utilizará en cada modelo, permite la utilización de formato IFC2x3. Se verifica la funcionalidad y compatibilidad de los archivos de cada software para garantizar su compatibilidad. Con este propósito primero se verificará la compatibilidad entre los formatos IFC de Revit y SolidWorks, y se procede de la siguiente manera:

Se abre un modelo realizado en Revit, luego se selecciona el icono de tareas, a continuación se selecciona Exportar, y a continuación Guardar un archivo IFC, figura 20.

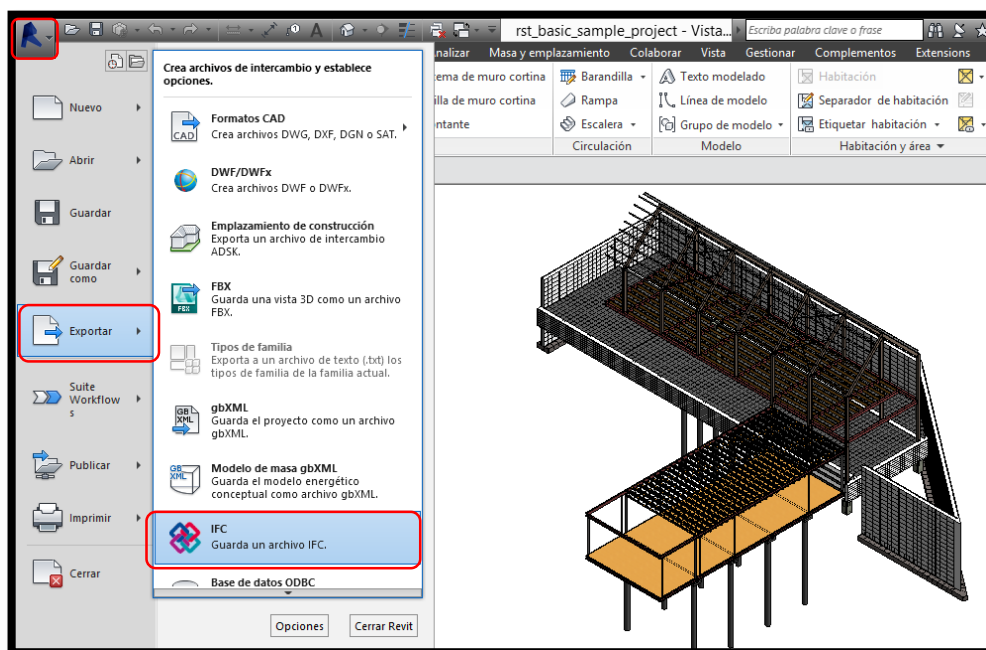


Figura 20. Exportación archivo IFC desde Revit.

Luego se escoge la versión de formato IFC en la que se desea exportar, figura 21.

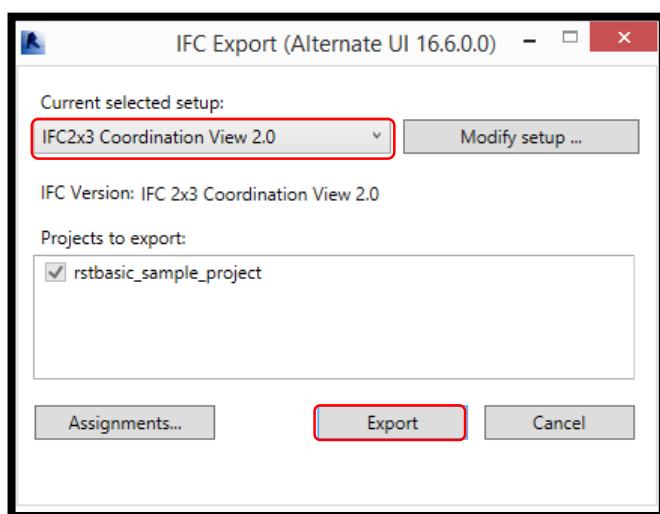


Figura 21. Selección de formato IFC de exportación en Revit

A continuación se selecciona la carpeta de destino, donde será guardado el modelo que se desea exportar, también se puede verificar el formato de exportación, figura 22.

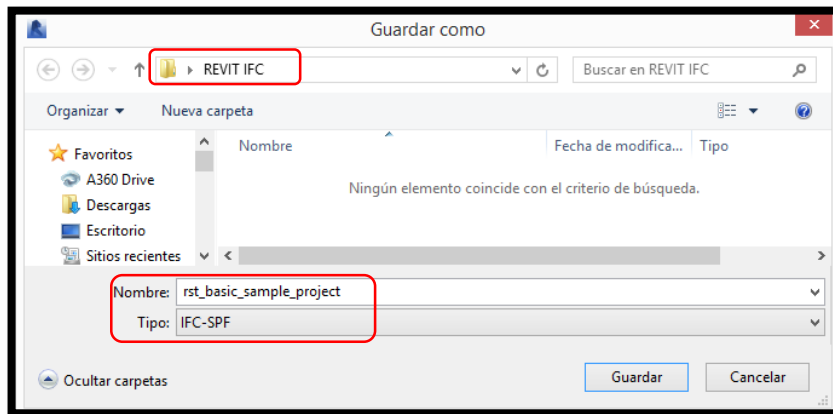


Figura 22. Selección de carpeta de destino del modelo en IFC

Luego del proceso de exportación en Revit, se procede a realizar la importación del modelo IFC en SolidWorks, con este propósito, se abre la aplicación donde seleccionamos la opción Abrir, figura 23.

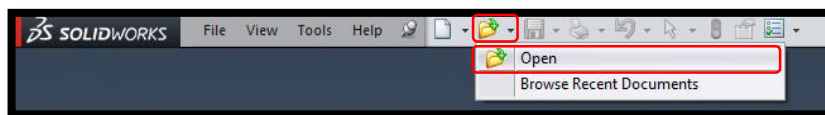


Figura 23. Importar modelo en Solidworks.

A continuación se selecciona el formato y modelo que se desea importar, ver figura 24

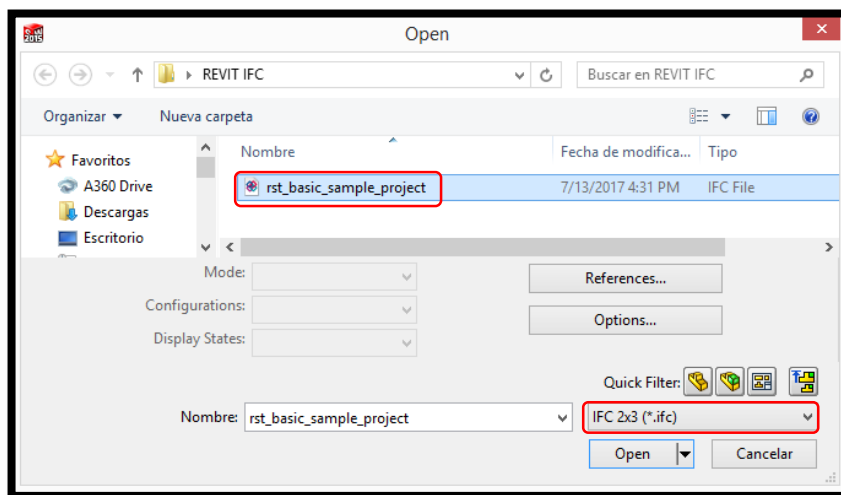


Figura 24. Selección de modelo y formato a importar en SolidWorks.

Luego se verifica que el modelo que se ha importado correctamente, en el que se pueda diferenciar cada una de las partes según el modelo original, en la figura 25 se puede apreciar el modelo en el programa de origen antes de ser exportado (Revit), y el modelo en el programa de destino (Solidworks), donde se puede comprobar la fidelidad que conserva con respecto al original,

tanto que permite realizar trabajos o modificaciones sobre el mismo, como si se tratara de un modelo realizado en el programa de destino.

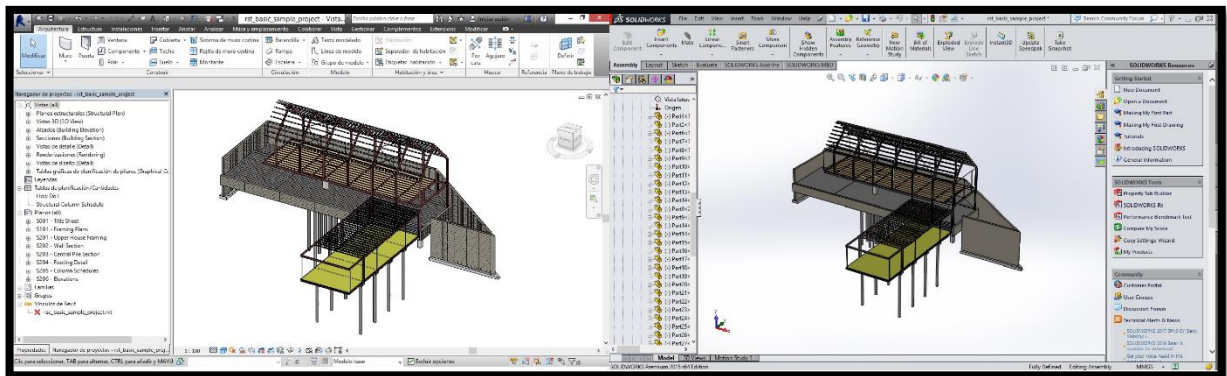


Figura 25. Verificación de modelo de origen (Revit), en el programa de destino (SolidWorks).

Luego se procede a la verificación de compatibilidad entre el formato IFC de CypeCad y SolidWorks, para verificar su compatibilidad, con este fin se procede a exportar un modelo de CypeCad; para ello se selecciona en el menú archivo, la opción Exportar, donde se elige IFC, figura 26.

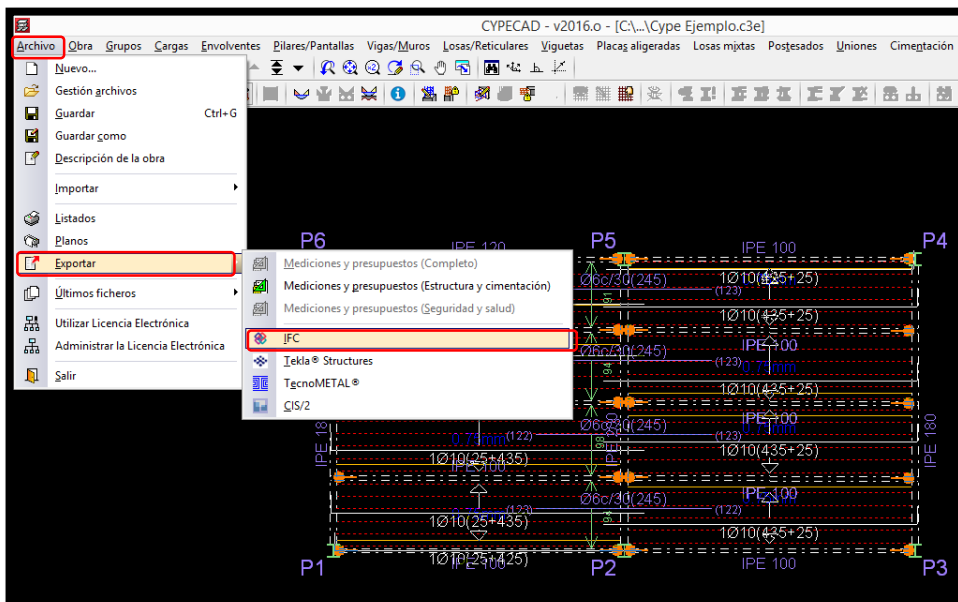


Figura 26. Exportación archivo IFC desde CypeCad

Luego se escoge la versión de formato IFC en la que se desea exportar, se asigna un nombre al archivo y se selecciona la carpeta de destino, figura 27.

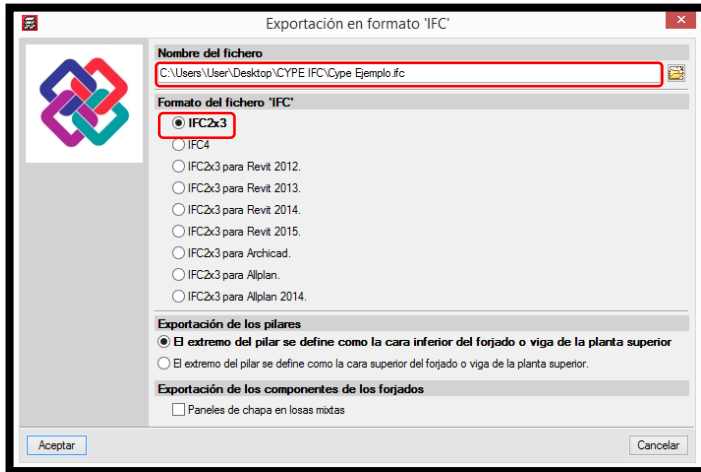


Figura 27. Selección de formato IFC de exportación en CypeCad

Luego se procede a importar el modelo en SolidWorks, de la misma manera en que se realizó para Revit; Una vez finalizado el proceso de importación se verifica que el modelo importado, sea fiel al exportado en el programa de diseño original, figura 28.

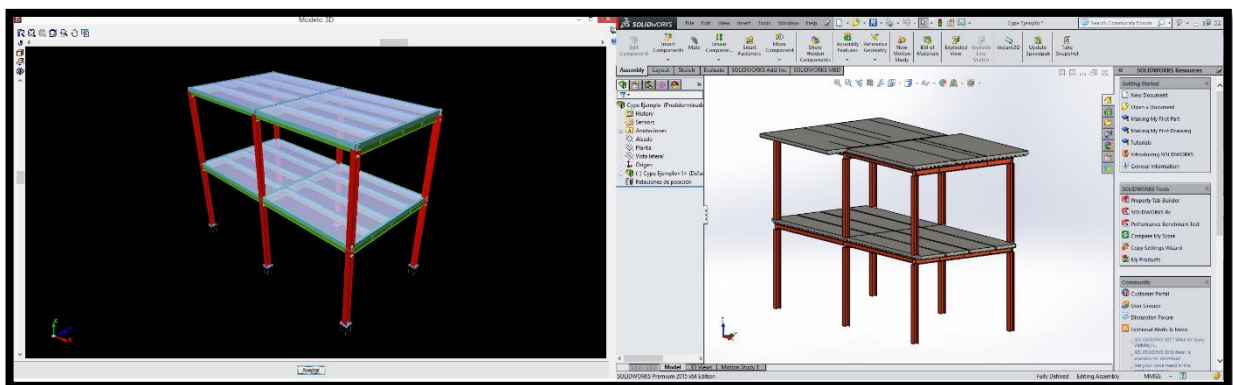


Figura 28. Verificación de modelo de origen (Revit), en el programa de destino (SolidWorks).

Se puede observar en la figura 28, el modelo importado en el programa de destino (Solidworks), no es un fiel reflejo del modelo realizado en el programa de origen (CypeCad), sin embargo el modelo importado, permite trabajar en el programa de destino (SolidWorks), para realizar modificaciones y correcciones necesarias.

Al verificar que el proceso de exportación-importación entre Revit y SolidWorks, es fiable, se realizó una prueba de compatibilidad entre el proceso de exportación-importación entre CypeCad y Revit, para utilizarlo como paso intermedio, para luego exportar el modelo desde Revit a SolidWorks, y no tener que realizar modificaciones al modelo importado en SolidWorks desde CypeCad, sin embargo el resultado fue desfavorable, figura 29.



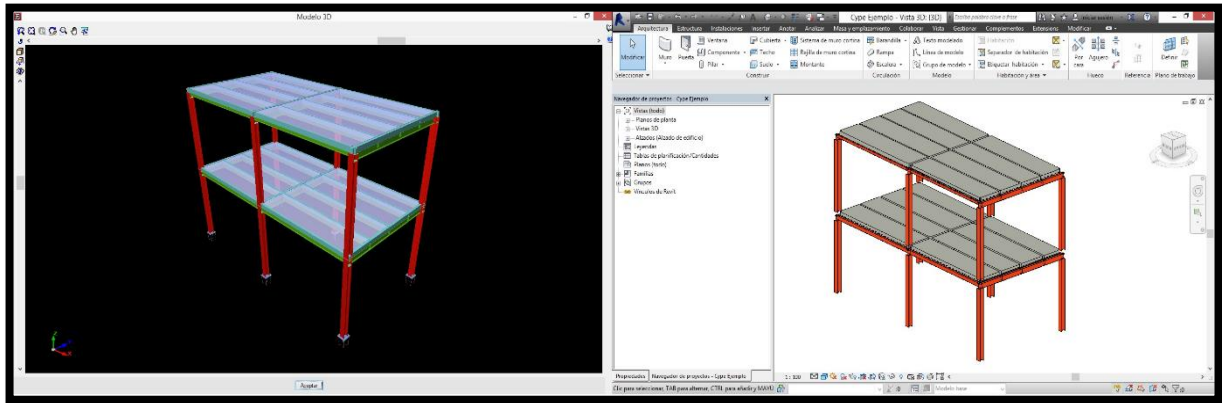


Figura 29. Verificación de modelo de origen (CypeCad), en el programa de destino (Revit).

En la figura 29 se puede observar que en el modelo realizado en CypeCad e importado en Revit, no es un fiel reflejo del original, por lo tanto no se puede utilizar este proceso, como paso intermedio para la exportación a SolidWorks. Por lo tanto lo más recomendable es realizar la importación en SolidWorks desde el archivo generado en CypeCad, y realizar las modificaciones necesarias y suficientes para que el modelo sea un fiel reflejo de aquello que se modeló en CypeCad y se desea construir.

Sobre la compatibilidad de los programas, se pueden señalar las siguientes observaciones:

#### Compatibilidad Revit –SolidWorks:

- La exportación e importación no tuvo ningún inconveniente
- La importación de forjados, muros, fue buena
- Los detalles estructurales en lo que se refiere a estructuras de acero fue muy buena.
- Los nombres de cada elemento no se importaron a SolidWorks
- Cada elemento se importó dentro de un grupo según el nivel al que pertenece.

#### Compatibilidad Revit-Cype 3D

- El proceso de exportación no se pudo realizar de forma directa, sino que hubo que importar el archivo de Cype 3D a CypeCAD, y luego realizar la exportación a formato IFC, para poder ser importado a Revit
- La importación de forjados fue mala, no satisface por completo el diseño original, en Revit.
- Los detalles estructurales de la estructura de acero no se exportaron.

- No se exportó el nombre de cada elemento.
- Se exportó según el nivel al que pertenece.

#### Compatibilidad SolidWorks-Cype 3D

- El proceso de exportación no se pudo realizar de forma directa, sino que hubo que importar el archivo de Cype 3D a CypeCAD, y luego realizar la exportación a formato IFC, para poder ser importado a SolidWorks.
- Se pueden importar los elementos estructurales sin los detalles de uniones y juntas
- La importación de forjado fue mala, no se ajusta al diseño original.
- Los elementos no se importan con sus nombres originales, pero si lo hacen dentro de un grupo formado por el nivel al que pertenecen.

La generación de planos estructurales se los realizó directamente desde Cype 3D a AutoCAD, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- Los planos de los elementos estructurales en general fue buena
- Los detalles de uniones y juntas en elementos principales fue buena
- Los detalles de uniones y juntas de sistemas de riostras fue malo.
- Algunos de los planos en general generan trazados innecesarios que dificultan realizar modificaciones que se requieran.

El programa que mayor dificultad generó en el flujo de trabajo BIM fue Cype3D, sin embargo cabe señalar que en la actualidad existe un complemento o plugin de Cype 2017 para trabajar con Revit, como se describe en la página oficial de Cype ingenieros:

“El "Complemento Open BIM para Revit" es una aplicación de libre acceso. Lógicamente para su funcionamiento es necesario que el usuario disponga de una licencia de Revit de versión 2015 o superior (con el plugin IFC 2015 o IFC 2016 instalado -las versiones de Revit posteriores ya incluyen este plugin).” (<http://plugin-openbim-revit.cype.es/>)

Si además desea incluir sus proyectos de Revit en el flujo de trabajo Open BIM con los programas de CYPE, es necesario que disponga de una licencia de uso de CYPE (versión 2017.f o superior) que incluya los programas con los que desea colaborar.

### ***3.1.3.3 Partes y componentes del modelo***

A continuación se especificará, la forma en que debe presentarse el contenido, el nivel de detalle, la nomenclatura y el orden de los archivos de los diferentes modelos que se elaborarán. Se aplicará al diseño de la estructura existente, del modelo estructural, del modelo de las instalaciones mecánicas, y de la administración de proyecto en general.

#### ***3.1.3.3.1 Estructura del nombre del modelo***

*Tabla 9:*

Nombre de Archivos según el modelo

Nombre de archivos según modelo	
Modelos	Nombre de archivos
Modelo Estado Actual	Exist
Modelo Estructural	Esp-Esc
Modelo Mecánico	Mec
Modelo de Administración	Admin

El nombre del archivo que identifica a cada modelo, constituye la primera parte del código del archivo.

#### ***3.1.3.3.2 Precisión en la realización del modelo***

Todos los elementos requieren de una determinada precisión, que estará condicionada por cada modelo, y será repercutirá especialmente durante el montaje y construcción en caso que el cliente apruebe su construcción.

Sin embargo por motivos técnicos y de eficiencia, no es necesario dotar a todos los modelos con el mayor detalle, y eso se especificará, para que no sea ese modelo un discriminante; en el

actual proyecto, el modelo que no tendrá un gran detalle de información será el modelo de estructura existente, aunque la información a nivel geométrico si será rigurosa.

El procurar el nivel de detalle adecuado, permite ahorrar recursos computacionales, técnicos y tiempo.

#### *3.1.3.3.3 Plan de detalle e información de modelado*

Cada modelo tendrá un nivel de información según el requerimiento particular de cada uno. El modelo con mayor detalle, será el modelo mecánico, luego el estructural, y finalmente el que menos detalle poseerá será el modelo de estructura existente

#### *3.1.3.3.4 Nivel de detalle (LOD), e información (LID)*

A pesar que en la normativa de diferentes países, establece las características de detalle e información que debe poseer cada nivel, es recomendable que para cada proyecto en particular se defina, para evitar en mayor medida el grado de subjetividad que en ellos existe. Los niveles de detalle que se utilizan en este proyecto son: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400, LOD 500.

- LOD 100: En este nivel lo importante será señalar la existencia de un objeto determinado, puede representarse por un símbolo sin necesidad de representación gráfica. En caso de representarse gráficamente, describirá su geometría de forma conceptual, donde el dibujo de un objeto en 2D, es suficiente.
- LOD 200: En este nivel, y en los sucesivos, ya no se admite la representación simbólica, debe existir necesariamente un dibujo 3D, que permita definir la posición del objeto en relación al proyecto en general, su orientación, medidas, y representación suficiente que permita el conteo.
- LOD 300: En este nivel, el modelo gráfico posee detalles precisos, en los que se pueden visualizar detalles constructivos importantes.
- LOD 350: En este nivel, el modelo posee el detalle suficiente, para visualizar el vínculo que posee el objeto con los demás elementos del entorno, permite identificar colisiones o interferencias.

- LOD 400: En este nivel, el modelo debe poseer a detalle todas las características precisas, para su fabricación, construcción, montaje, e instalación.
- LOD 500: En este nivel, se considera que ya no se aporta información gráfica, sin embargo la información que se agrega se ve reflejada en el LID 500. “En el documento del BIMForum no se hace referencia a elementos LOD 500 puesto que estos están referidos a la verificación y no son una indicación de la progresión a un nivel superior de la geometría del elemento de modelo o información no gráfica” (Agustín Sánchez Ortega, 25 de octubre, 2016, ¿QUÉ ES EL LOD?, <https://www.espaciobim.com/que-es-el-lod-nivel-de-detalle/>)

Los niveles de información que se utilizan en este proyecto son: LID 100, LID 200, LID 300, LID 350, LID 400, LID 500.

- LID 100: En este nivel, se puede hallar información para estimar un valor aproximado del costo y valor del objeto.
- LID 200: En este nivel, se puede aportar información aproximada del tiempo necesario para desarrollar el objeto y el costo que esto implica
- LID 300: En este nivel, se establece un cronograma de fabricación, el costo que representa la fabricación del mismo.
- LID 350: En este nivel, se establece el tiempo de fabricación, ensamblaje del objeto, y puesta en obra, se establece el costo que esto implica. Se define el costo especial, de algún detalle constructivo en específico, por ser poco usual, por replanteo o implique una dificultad añadida. Se permite sugerir replanteos en caso de ser necesario.
- LID 400: En este nivel, se definen las actividades de fabricación, proveedores y contratistas que desarrollarán los objetos del proyecto.
- LID 500: En este nivel, se aporta información para verificación del modelo en su conjunto; la información aportada debe ser suficiente, que defina las actividades de puesta en marcha, mantenimiento del proyecto y sistema de control de calidad en estas actividades.

A continuación se describen los niveles de detalle y de información que se utilizará en el presente proyecto, y que constituyen el nivel de desarrollo.

Tabla 10:

*Nivel de detalle (LOD) e información (LOI)*

Nivel de detalle e información, en cada fase, para el proyecto en cada modelo				
Fase		Estructural	Mecánico	Existente
Levantamiento de información, conceptualización.	LOD	100	100	200
	LOI	200	100	200
Pre diseño	LOD	300	200	200
	LOI	200	200	200
Diseño	LOD	350	350	200
	LOI	350	350	200
Generación de Documentación	LOD	350	350	
	LOI	400	400	200
Construcción	LOD	400	400	200
	LOI	400	400	200
Entrega del proyecto	LOD	400	400	200
	LOI	500	500	200
Administración y Gestión	LOD	400	400	200
	LOI	500	500	200

A pesar que en las diferentes normas existentes sobre el nivel de desarrollo y el nivel de información, es recomendable definir cada uno de ellos en los proyectos, para establecer claramente el detalle a nivel de diseño y la información que debe contener cada modelo.

#### ***3.1.3.4 Plan de modelado de acuerdo a las fases del proyecto***

A continuación se detallará el un plan de modelado, para cada una de las fases del proyecto, en la que se presentarán los objetivos de modelado, y las responsabilidades de los encargados del modelo de cada fase.

#### *3.1.3.4.1 Fase de Levantamiento de información, planteamiento de requerimiento, conceptualización*

**Objetivo:** Adquirir información sobre la estructura industrial ya existente, dentro de la cual se desea construir la estructura de acero para soportar las instalaciones mecánicas; Información que debe ser suficiente para poder realizar un diseño 3D inicial de la estructura existente.

Adquirir información que permita tener en cuenta las consideraciones de espacio, para diseñar las instalaciones mecánicas y la nueva estructura.

Establecer un punto de referencia para la coordinación de cada modelo.

**Funciones del modelo:** en esta etapa se realizará el diseño de los modelos de Estructura Existente y de Administración.

La principal función del modelo Estructura Existente, es reflejar la realidad del sitio en el cual se debe ejecutar el proyecto. En esta se debe identificar las condicionantes que va a tener el proyecto: relacionado a la accesibilidad, facilidad de construcción y posibles riesgos de accidente en el lugar.

En el modelo de Administración se plantearán los objetivos y responsabilidades de cada uno de los miembros del equipo que participarán en el proyecto, se podrá establecer un cronograma aproximado de las actividades que se realizarán.

**Responsabilidades:** A partir del modelo que se realice en esta etapa, se realizarán los modelos Estructural y Mecánico.

A partir de la información generada en esta etapa, se establecerán los lineamientos y directrices que darán origen a todas las actividades del proyecto.

#### *3.1.3.4.2 Diseño esquemático, pre diseño*

**Objetivo:** Realizar un diseño 3D, basado en la información recolectada en la fase de levantamiento de información; proponer un diseño inicial para los modelos Estructural y Mecánico, que permitan establecer los sistemas de fabricación, producción y montaje, con la finalidad de poder establecer costos aproximados del proyecto.

El diseño realizado en esta fase, debe permitir la visualización de los requerimientos físicos y geométricos, que necesitará cada uno de los modelos y coordinación entre ellos.

**Funciones del modelo:** el modelo Estructural, debe mostrar la disposición que ocupará en el modelo Existente, y el modelo Mecánico mostrará la disposición que tendrá con relación al modelo Existente y el modelo Estructural.

En el modelo estructural ya se debe mostrar las dimensiones generales de longitud, de ancho y altura total.

El modelo Estructural debe ser una referencia para el diseño definitivo del modelo Mecánico, en el cual debe ajustarse, y con el cual debe evitarse interferencias.

El modelo Mecánico debe evitar interferencias con los dos modelos mencionados. La función del modelo Administrativo, es la de coordinar la comunicación e intercambio de información entre los modelos, además de verificar el cumplimiento del cronograma y realizar los ajustes necesarios.

**Responsabilidades:** El encargado de diseñar cada modelo, será responsable de transmitir la información de su modelo a cada encargado de realizar los otros modelos y al administrador de proyecto, así como será responsable de verificar la información de los otros modelos que influyen directamente en el que le corresponde diseñar.

El administrador de proyecto, verificará que el flujo de información entre los encargados de cada modelo sea el correcto, y será el principal responsable de verificar posibles interferencias y solapamientos en los diferentes modelos. Además será responsable de gestionar las soluciones para los posibles inconvenientes que se presenten.

El administrador de proyecto deberá verificar el cumplimiento de los objetivos de diseño hasta esta fase, el cumplimiento de cronograma y su ajuste.

#### **3.1.3.4.3** *Diseño a detalle, nivel de desarrollo de diseño*

**Objetivo:** Verificar el diseño final por parte de los responsables de cada modelo, junto con el administrador del proyecto.



Se verificará el diseño final en el modelo Estructural, en cual se revisará tanto el modelo 3D, como la información que respalde el diseño. Se analizará la constructibilidad, el calendario que implica este proceso, y su costo.

En el modelo Mecánico, se verificará el modelo 3D, la documentación necesaria para su fabricación, y montaje.

**Funciones del Modelo:** El modelo Existente, servirá como referencia, en torno del cual se verificarán los demás modelos.

En el modelo existente se deberá realizar la unión de los demás modelos.

**Responsabilidades:** Los encargados de diseñar cada modelo entregarán la información de los modelos al administrador del proyecto.

El administrador de proyecto se encargará de revisar la información de cada modelo, para cerciorarse que se ha cumplido con lo establecido en cada una de las fases hasta la presente.

El administrador de proyecto, retroalimentará a los encargados del diseño de cada modelo, sobre las oportunidades de mejora que debe implementarse en cada modelo.

#### *3.1.3.4.4 Información de construcción e implementación*

**Objetivo:** Una vez listas las modificaciones necesarias en cada modelo según la retroalimentación recibida, se entregará la información al administrador de proyecto.

Se revisará la documentación de cada modelo, cerciorándose que contenga la información requerida para la construcción de cada uno de ellos.

Se analizará la factibilidad económica y técnica de la construcción del proyecto en general.

**Funciones del Modelo:** Los modelos serán utilizados para verificar la documentación técnica, programar las actividades de fabricación y construcción.

**Responsabilidades:** los responsables de los modelos generarán y revisarán la documentación para presentar al cliente.

#### *3.1.3.4.5 Coordinación entre partes*

**Objetivo:** Revisar los modelos, con las observaciones del cliente, e implementar los posibles cambios, o realizar aclaraciones sobre el modelo definitivo.

**Funciones del modelo:** Reflejar las observaciones realizadas por el cliente, y los datos necesarios para la construcción y fabricación. Proveen información suficiente y necesaria para su fabricación y montaje.

**Responsabilidades:** el administrador de proyecto, se encargará de reunir la información necesaria por parte de los encargados de cada modelo, para proporcionarla a quien estará encargado de la construcción.

#### *3.1.3.4.6 Construcción*

**Objetivo:** verificar el cumplimiento del diseño, durante el proceso de fabricación. Comprobar ajustes y tolerancias de los modelos durante fabricación, construcción y montaje. Actividades colaborativas de fiscalización de la fabricación, construcción y montaje.

**Funciones del modelo:** los modelos servirán como referencia durante todo el proceso de fabricación construcción y montaje.

Permitirán el análisis del cumplimiento del cronograma y las actividades planificadas para esta fase.

Poner de manifiesto, el grado de cumplimiento entre lo diseñado y lo materializado.

#### *3.1.3.4.7 Gestión y administración de instalaciones*

**Objetivo:** Utilizar los modelos del proyecto, para la gestión y administración de las instalaciones.

**Funciones del Modelo:** representar el proyecto en su totalidad, para permitir una correcta administración y gestión del proyecto.

**Responsabilidades:** El administrador de proyectos, entregará el proyecto al propietario.

### **3.1.4 Plan de análisis**

Es importante considerar la información necesaria y suficiente, más relevante del proyecto desde un inicio, para poder realizar un correcto plan de análisis

#### *3.1.4.1 Modelos de Análisis*

El proyecto, requerirá de la realización de diferentes tipos de análisis que son indispensables para el diseño del mismo.

Los diferentes tipos de análisis, necesitan de requisitos que deben ser especificados, y que se describen a continuación.

#### *3.1.4.1.1 Cantidad de análisis de inicio*

El objetivo de este análisis, es determinar los costos que se requieren cubrir al inicio de proyecto; a nivel técnico se requiere analizar la interoperabilidad del software a utilizar, y la capacidad de generar el dato de costos.

#### *3.1.4.1.2 Análisis de planificación*

El objetivo de este análisis de planificación y programación, es determinar la posibilidad de utilizar el modelo para estudiar la línea de tiempo del proyecto y cumplimiento del cronograma, así como planificar la secuencia del proceso constructivo y de fabricación. Esta información permitirá ajustar el calendario

#### *3.1.4.1.3 Análisis de visualización*

El objetivo principal, es la de permitir visualizar el modelo 3D, permitiendo que el producto final pueda ser visualizado de manera más precisa, que permita incluso solucionar problemas físicos, de interferencia y solapamiento.

#### *3.1.4.1.4 Análisis Estructural*

El objetivo es analizar el modelo estructural, para estudiar sus propiedades. Los programas de análisis utilizan el método de los elementos finitos.

Tanto para el análisis estructural de las instalaciones mecánicas como para la estructura que se diseñará, será utilizado método de los elementos finitos.

#### **3.1.4.2 Plan de análisis detallado**

Para el análisis de costos: se utilizarán los modelos Estructural, Mecánico.

Para la realización del análisis de costos se utilizarán tablas de datos, en hojas de cálculo de Excel.

Para la realización del análisis de línea de tiempo, se utilizará el cronograma de actividades diseñado en Project

Para el análisis de visualización se utilizara las herramientas de visualización de cada uno de los programas de diseño: Revit, SolidWorks, CypeCad.

Para el análisis estructural, se utilizará CypeCad, y SolidWorks Simulation, que realizan el análisis a partir del método de elementos finitos.

### **3.1.5 Plan de Modelado Simultáneo**

A continuación se muestra el flujo de trabajo que se seguirá durante la realización del proyecto, con el fin de coordinar las actividades de cada modelo.

*(Flujograma)*

### **3.1.6 Plan de Colaboración**

En el plan de colaboración, se indica, la estructura de ficheros y datos, que cada modelo cumplirá.

A esta estructura de datos tendrán acceso cada uno de los participantes del proyecto para facilitar la colaboración entre las partes.

#### ***3.1.6.1 Gestión de documentos***

Los documentos serán gestionados por cada uno de los encargados de cada modelo, pero supervisados por el administrador de proyectos.

Los archivos que se serán utilizados son los siguientes:

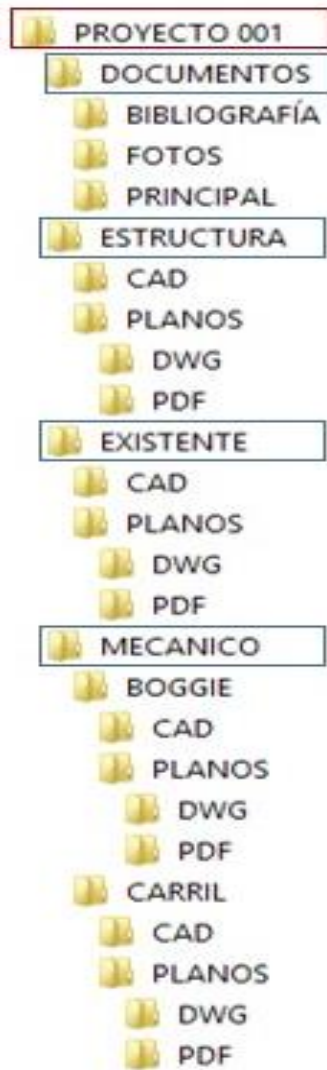


Figura 30. Gestión de archivos y documentos

Uno de los aspectos más importantes del BIM, es que permite la estandarización que se aplica a la documentación, entre ellos los planos que deben presentarse, para cumplir con ese cometido, se establecen los formatos de los planos a utilizarse.

En este proyecto se espera utilizar planos en formatos A4 y A3, que cumplan con los estándares de dibujo técnico comúnmente aceptados.

A continuación, en la figura 21, se presenta el formato A4:


				4				3				2				1			
F																F			
E																E			
D																D			
C																C			
B																B			
A																A			
 SERVICIOS DE INGENIERIA BAS				Detalles				Unidades											
				Códigos				Material											
				Nombre				Fecha				Firma				Formato A4			
				Diseño												Tolerancia			
				Aprobado												Escala			
																Plano de			
				4				3				2				1			

Figura 31. Formato A4

El cuadro de información que se utiliza tanto en el formato para planos A4 y A3, es el mismo y se puede utilizar en la figura 22.



 SERVICIOS DE INGENIERIA BAS	Detalles			Unidades
	Códigos			Material
	Nombre	Fecha	Firma	Formato A4
	Diseño			Tolerancia
	Aprobado			Escala
				Plano de

Figura 32. Cuadro de información de planos

A continuación, en la figura 23, se presenta el formato A3:

								8								7								6								5								4								3								2								1							
F																																																																F							
E																																																																E							
D																																																																D							
C																																																																C							
B																																																																B							
A																																																																A							
 SERVICIOS DE INGENIERIA BAS								Detalles								Unidades																																																							
								Códigos								Material																																																							
								Nombre								Fecha								Firma								Formato A3																																							
								Diseño																								Tolerancia																																							
								Aprobado																								Escala																																							
																																																																Plano de							
								8								7								6								5								4								3								2								1							

*Figura 33. Formato A3*

### ***3.1.6.2 Solución de administración de documentos***

Los documentos serán administrados por el administrador de proyectos, y cualquier actualización o modificación de los mismos, le debe ser comunicada.

#### IV Modelo estado actual

En esta fase, se realiza el diseño de la nave industrial existente, en la que debe ser instalada el sistema de transporte elevado.

El propósito general es el de reflejar todo cuanto pueda influir en el diseño y construcción del nuevo proyecto; además el modelo del estado actual de la fase existente, “se incluye entre los requisitos BIM, tanto para nuevas construcciones como para rehabilitaciones, porque es una condición previa básica para el proceso de diseño y todo el modelado posterior” (Building Smart, Parte General, P16).

En esta fase, el modelado de los elementos existentes constructivos se realizará de modo que “que al transmitir los datos, la ubicación de cada elemento coincida con el contenido y la geometría transmitido por todos los colaboradores”. (Building Smart, Modelado del Estado Actual, P 2)

A continuación se describe la información necesaria, para la realización de este modelo, recomendada por Building Smart Spanish Chapter (Building Smart, Modelado del Estado Actual, 2014, P4):

- Métodos de medición, precisión, fecha.

Se realizó la medición con medidor de distancia laser Stanley TLM 99S, con precisión de  $\pm 2$  mm, se realizó una comprobación con topómetro Stanley MW-20M

Las mediciones se realizaron el 16 de febrero del año 2017

- Fuentes de los datos usados.

Los datos fueron generados por los miembros del equipo del proyecto.

- Software utilizado.

El programa para el dibujo de los planos, de la información recolectada es AutoCAD.

- Sistema de coordenadas, identificación y coordenadas de los puntos de correspondencia.

Se establece un sistema de coordenadas local, “de tal manera que toda el área de modelado quede en la parte positiva de los ejes XY y que el origen de coordenadas se ubique cerca del área de dibujo” (Guía de usuarios BIM, Diseño Arquitectónico, 2014, P3), se recomienda que la que la posición del eje Z del modelo BIM coincida con la altura del edificio. Este sistema de coordenadas



se establece para que los demás modelos también cumplan con esta convención, y facilitar el trabajo colaborativo, especialmente durante la unión de los diferentes modelos.

- Convenciones de nombres de ficheros y de elementos constructivos.

Los nombres de ficheros, se estableció en el Plan de colaboración, apartado 6.1.6.1 y en el apartado 6.1.3.3.1.

- Capas usadas en el modelo

Las capas utilizadas para realizar los planos, con la información adquirida, que sirve de base para el modelado de la nave industrial son los que se muestran en la siguiente figura:

Status	Name	On	Freeze	Lock	Color
✓	0	☀	☀	🔒	white
📄	1 Ejes	☀	☀	🔒	252
📄	2 Pared Exterior	☀	☀	🔒	255
📄	3 Pared interior	☀	☀	🔒	110
📄	4 Nivel	☀	☀	🔒	65
📄	5 Cotas	☀	☀	🔒	10
📄	6 Cerca	☀	☀	🔒	white
📄	7 Puerta	☀	☀	🔒	30
📄	AceroExistente	☀	☀	🔒	65

Figura 34. Capas usadas en modelo existente

La información que se ha obtenido de las mediciones realizadas se pueden dibujar primeramente en un programa tradicional de CAD, aunque este no constituya una herramienta de la metodología BIM, incluso en este se pueden generar las plantillas base para ser utilizadas como referencia en las herramientas BIM.

En las figuras 25 y 26 se muestran los planos realizados en AutoCAD a partir de la información generada.

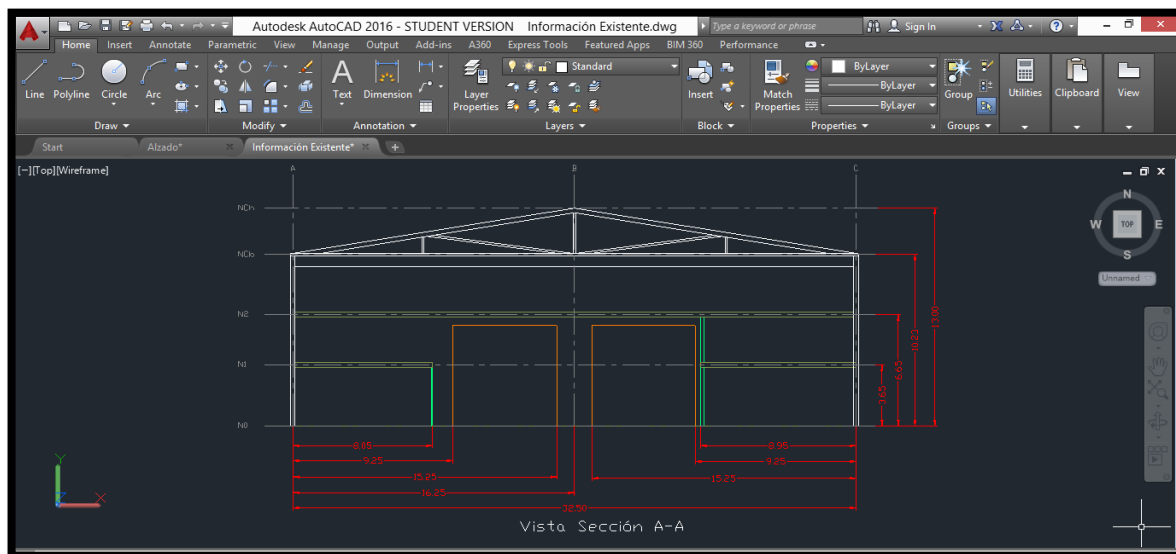


Figura 35. Plano vista de alzado, de la nave existente

El plano de planta, de la nave industrial, se ha diseñado teniendo en cuenta que servirá como plantilla para luego modelar en Revit el modelo 3D, de la fase existente, figura 26.

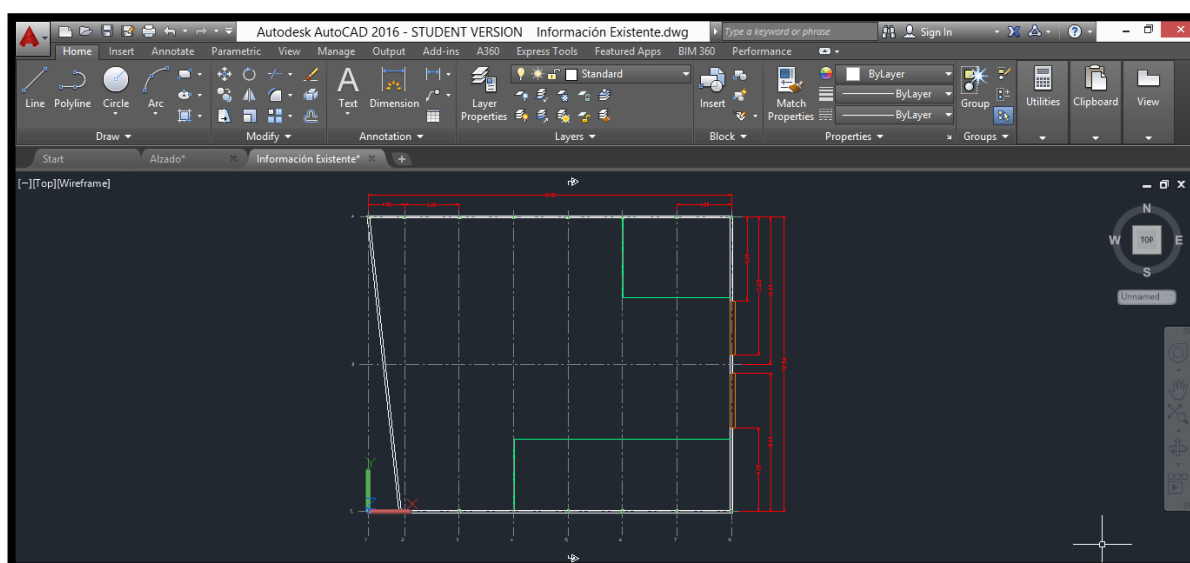


Figura 36. Plano vista planta, de nave industrial existente

#### 4.1 Modelado de la estructura Existente

Para realizar el modelo 3D, se debe partir de los modelos 2D obtenidos de la etapa de recolección de datos, y de los planos generados a partir de esta información. Para ello se ingresa en Revit la información que se ha dibujado en AutoCAD.

Dentro del programa Revit, se selecciona Vincular CAD, ubicado en el grupo Vincular, en la cinta de opciones de la pestaña insertar.

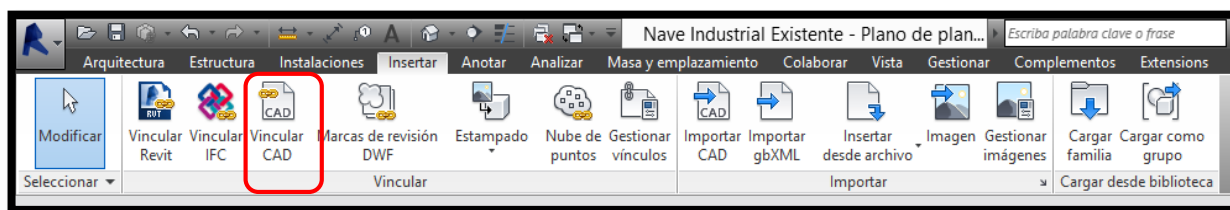


Figura 37. Vínculo archivo de AutoCAD con Revit

El haber creado el vínculo, permite que todos los cambios que se realicen en el modelo 2D se vean reflejados en el modelo 3D, figura 38.

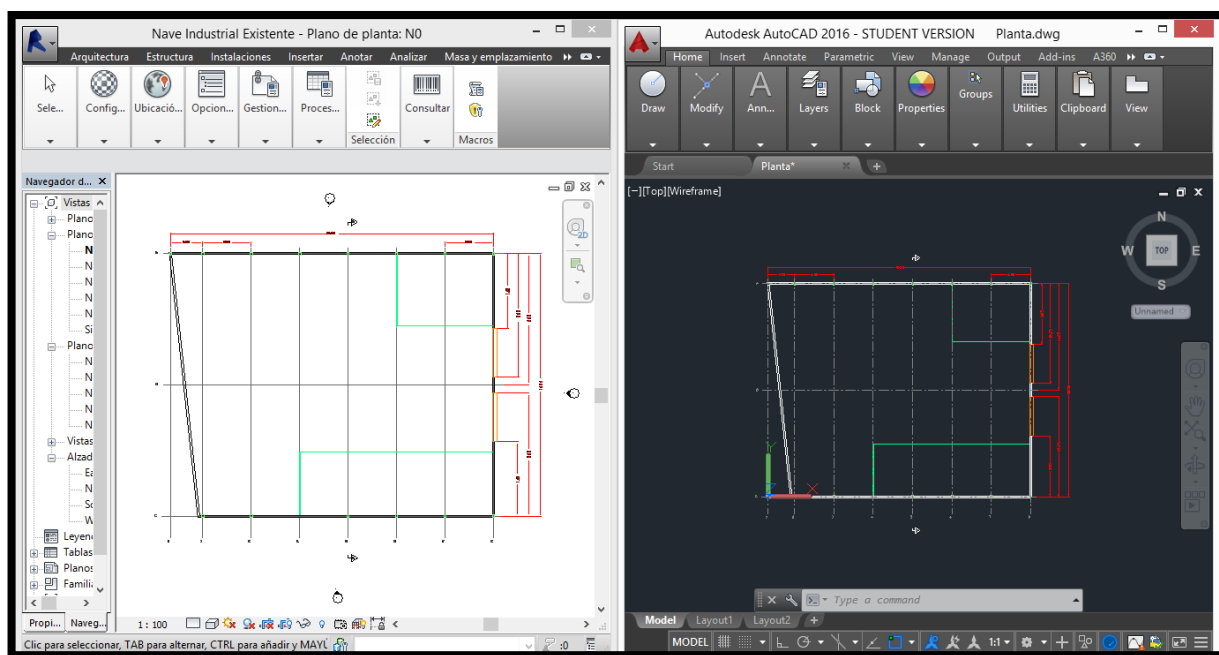


Figura 38. Visualización del contenido de AutoCAD en Revit

El uso de este vínculo permite la actualización permanente de la información en el modelo 3D mediante la gestión de vínculos en Revit, el cual permite cargar automáticamente el modelo 2D con la información que se haya modificado en el mismo, figura 39.

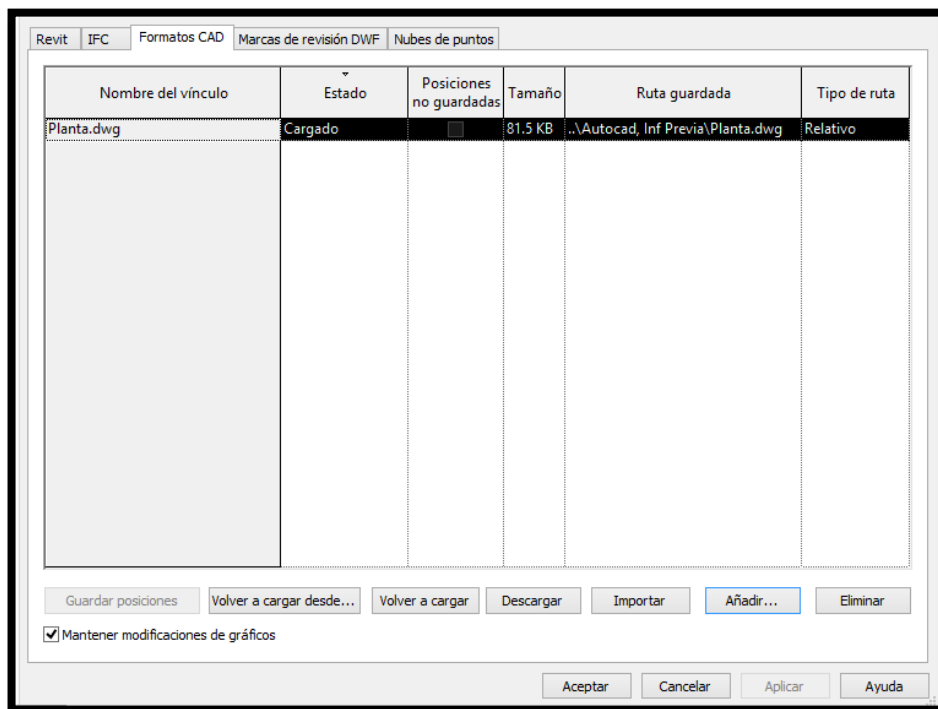


Figura 39. Gestión de vínculos de Revit

A partir de las plantillas ingresadas en Revit, se desarrollan las rejillas horizontales, y también se definen los niveles.

Luego se crean y definen los elementos que se utilizarán en el modelado, asignándole un nivel de información y de detalle, para satisfacer el nivel de desarrollo establecido en la tabla 10; Se puede observar en la figura 40, la asignación de nivel de detalle e información al elemento muro.

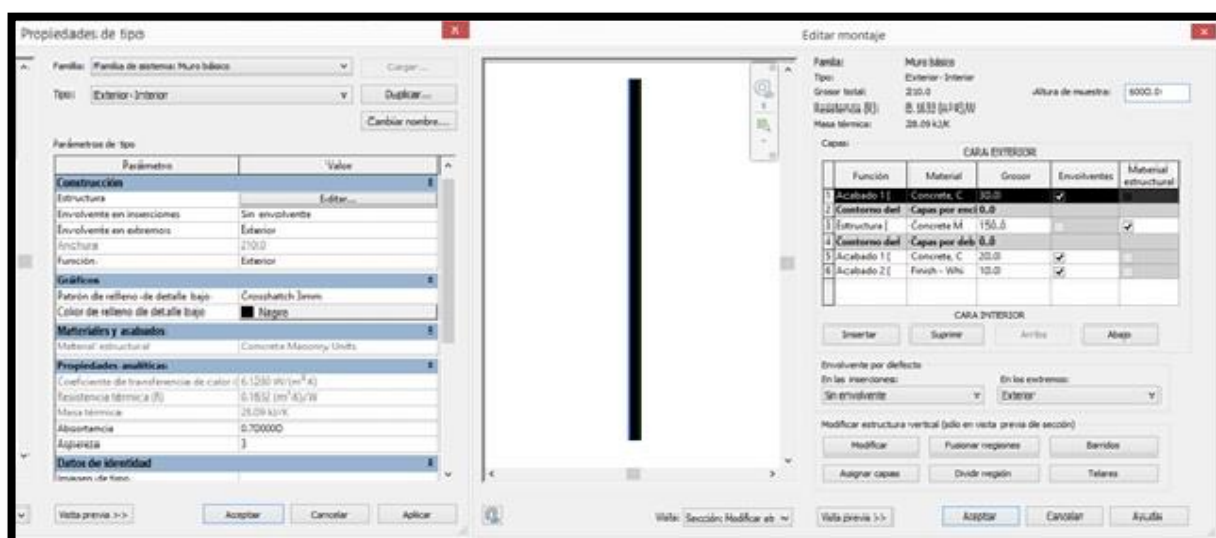


Figura 40. Definición del elemento muro

De la misma manera en que se han definido las propiedades del elemento muro, se define para cada uno de los elementos que se utilizará en el modelo existente.

Una vez definidos cada uno de los elementos, se procede a establecer los niveles y alzados que se utilizarán, figura 41, que servirán como referencia para el modelado junto con la rejilla en la vista planta, que está determinada por el plano vinculado de AutoCAD, figura 38.

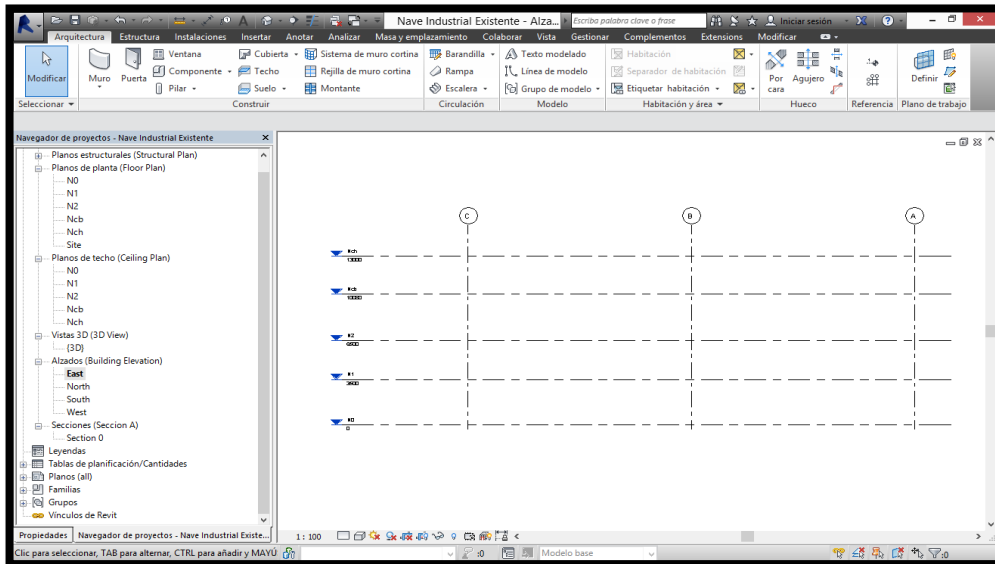


Figura 41. Definición de niveles en Revit.

Luego se procede al modelado del emplazamiento y elementos existentes, hasta alcanzar e incluir el nivel de detalle e información establecidos, figura 42 y 43.

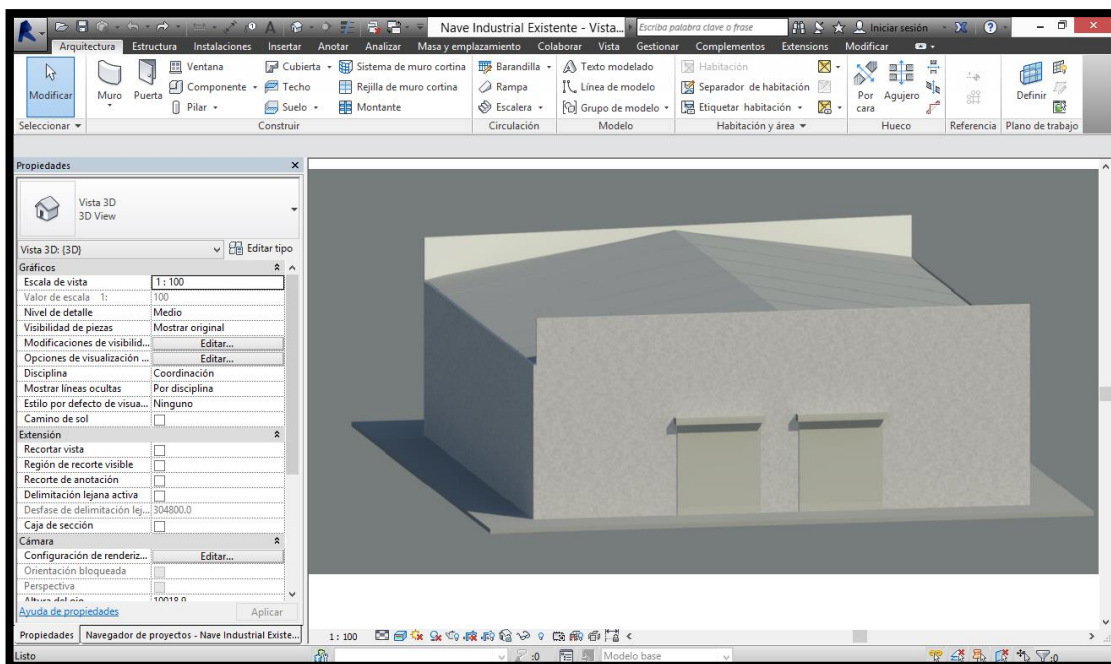


Figura 42. Modelado de la nave industrial

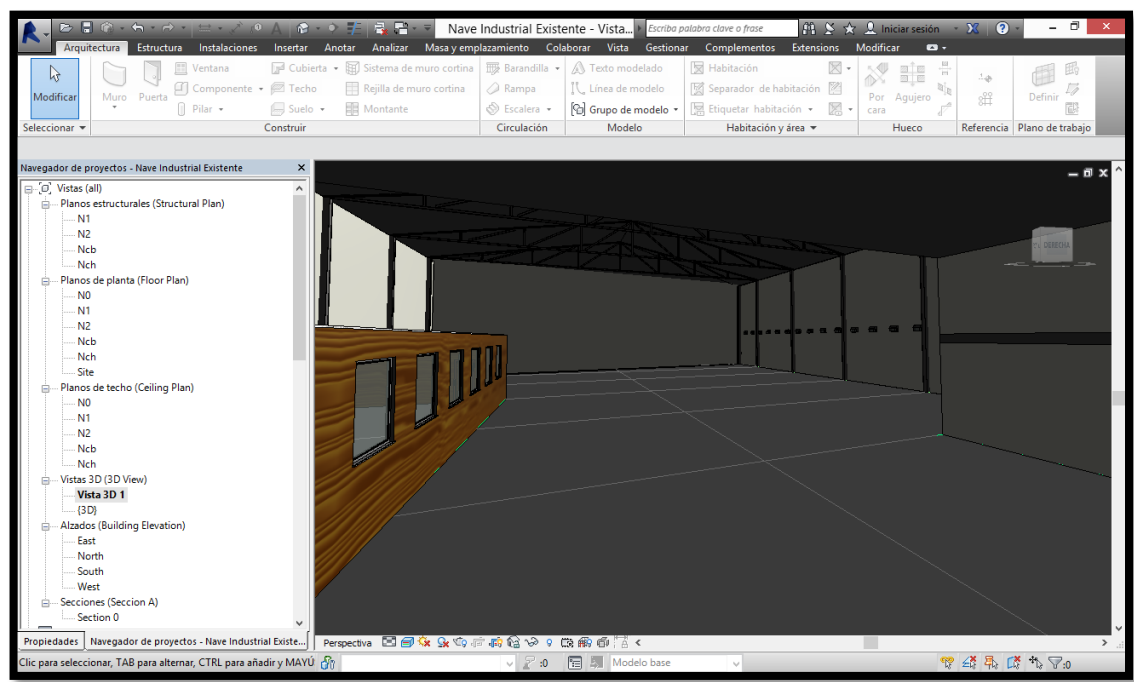


Figura 43. Parte interior de la nave industrial

## V Modelo mecánico

### 5.1 Carro

El carro (figura 44), consta de un bogie (figura 45), y una canasta (figura 46).

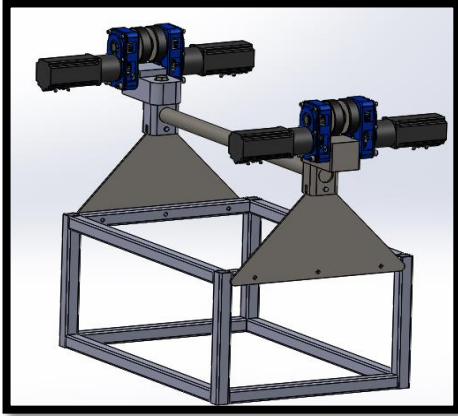


Figura 44. Carro

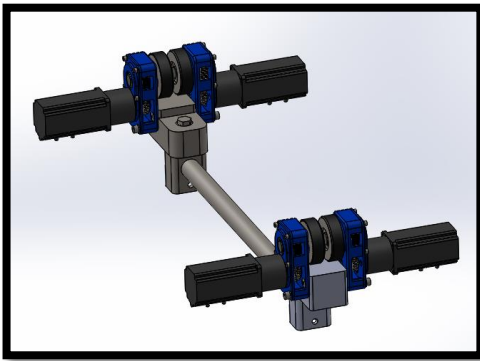


Figura 45. Bogie

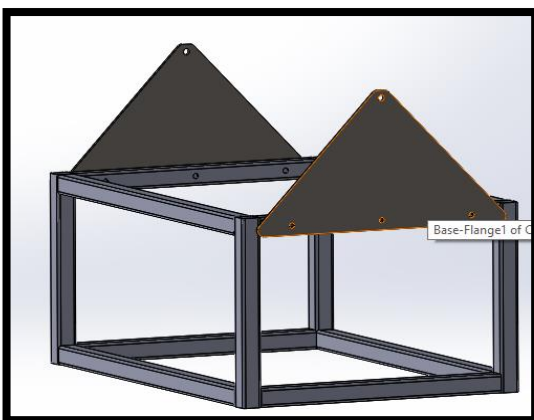


Figura 46. Canasta

El bogie se ha diseñado para que pueda circular por un riel formada por un perfil IPE 120, y consta de cuatro motores, que se sujetan a una caja, formada por dos placas laterales, que contienen

en su interior un sistema reductor, que sirve para transmitir la potencia desde el eje del motor, al eje de la rueda. La caja se une a un bloque, que a su vez soporta un bloque inferior que se unirá a la canasta; en el bloque inferior se coloca una barra separadora entre las ruedas delanteras y las posteriores, figura.

La canasta ha sido diseñada para que pueda trasladar una caja euro box, ha sido diseñada con perfiles tubulares.



## **VI Modelo estructura**

En esta fase se plantea el diseño de dos estructuras, que serán construidas e instaladas al interior de una nave industrial ya existente.

Al tratarse de dos estructuras lo más conveniente y recomendable es tratar el modelo estructural en dos modelos, uno estructura para ensayos y otro estructura comercial, ya que facilita el flujo de trabajo.

El sistema de coordenadas a utilizarse en el modelo estructural, es el definido en el modelo existente y que se ubica en un elemento de la nave industrial existente, a pesar de ello en el modelo estructural no se representa en el objeto puesto que “los modelos de estructuras no pueden incluir objetos de otras disciplinas, aunque dichos objetos se hayan usado como referencia” (P6).

Se considerará dentro del modelado de la estructura la división de niveles, “de manera que cada uno incluya los pilares, muros portantes y el forjado correspondiente al nivel soportado por dichos elementos verticales” (P3), en caso de existir elementos que ocupan más de un nivel, se considerarán que “pertenecen al primer nivel en el que aparecen”. (P3)

### **6.1 Estructura para ensayos**

Esta estructura, debe ser diseñada para ser instalada en la empresa con el propósito de evaluar el sistema de transporte elevado, para poder realizar pruebas y ensayo de funcionamiento del circuito de rieles y del carro; esta nave debe poseer dos plantas, en cada una de ellas se instalará el sistema de transporte completo, en la primera planta habrá cuatro carros y en la segunda dos carros.

La estructura será de tipología porticada, constituida por pilares HEB, vigas IPE, sistemas de riostras en dirección X y dirección Y, el piso de la primera planta serán religas industriales, figura 47.

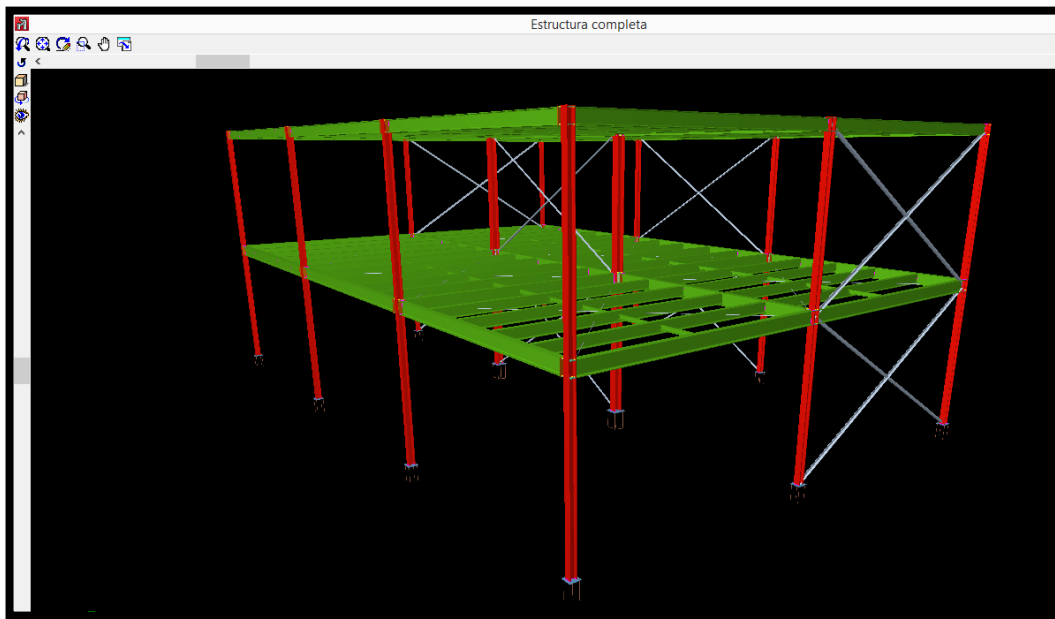


Figura 47. Estructura modelada en Cype

Luego se procede a realizar el análisis y cálculo de la estructura hasta alcanzar la el diseño de estructura deseado, cuya memoria de cálculo se encuentra en el anexo A.

Una vez alcanzado el diseño deseado, se procede a exportar el modelo desde Cype Cad a formato IFC, para ello, se selecciona Archivo, después Exportar y se escoge IFC, figura 48.

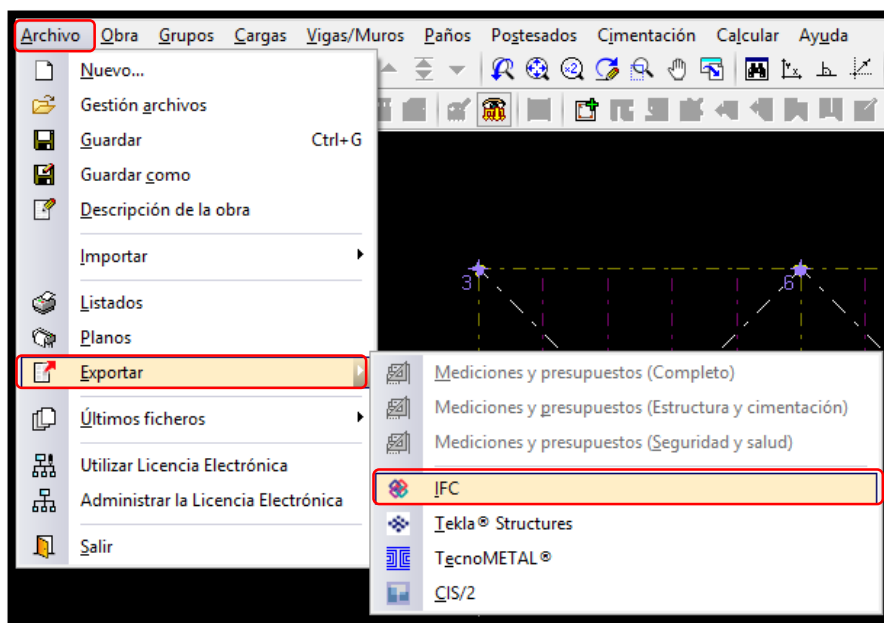


Figura 48. Exportar formato IFC desde CypeCad.

En dialogo que de selección de formato, se selecciona la carpeta donde se desea guardar y se escoge la opción IFC 2x3, figura 49.



Figura 49. Selección de formato y fichero.

El archivo IFC que se ha generado en Cype, se importa en SolidWorks, para ello se selecciona abrir el menú de SolidWorks, figura 50.

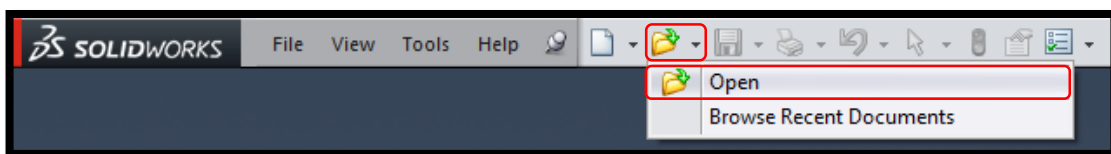


Figura 50. Abrir archivo IFC SolidWorks

A continuación, se selecciona el archivo que se desea importar, figura 51.

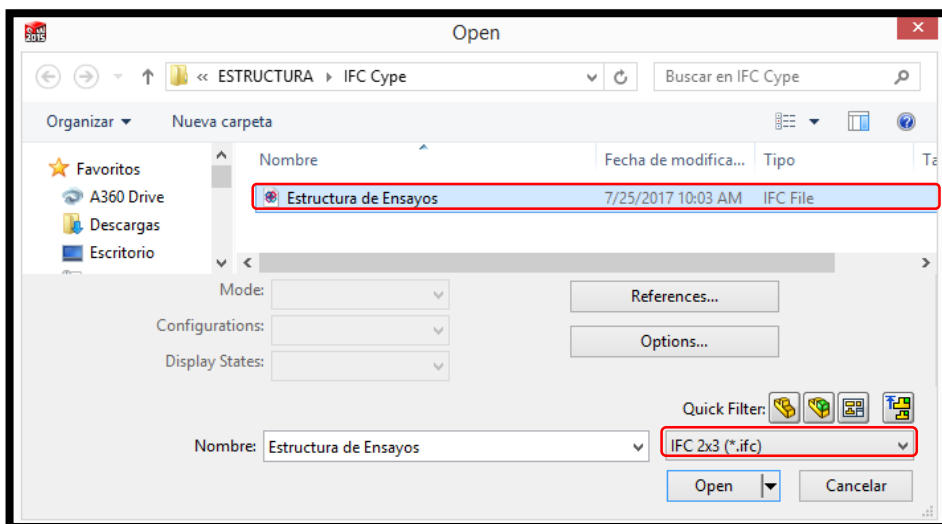


Figura 51. Selección de archivo a ser importado en SolidWorks.

Finalmente se verifica la importación de la estructura (figura, y cada una de sus partes, y se procede a guardarla como archivo de SolidWorks, para luego realizar un ensamblaje de todo el conjunto en general.

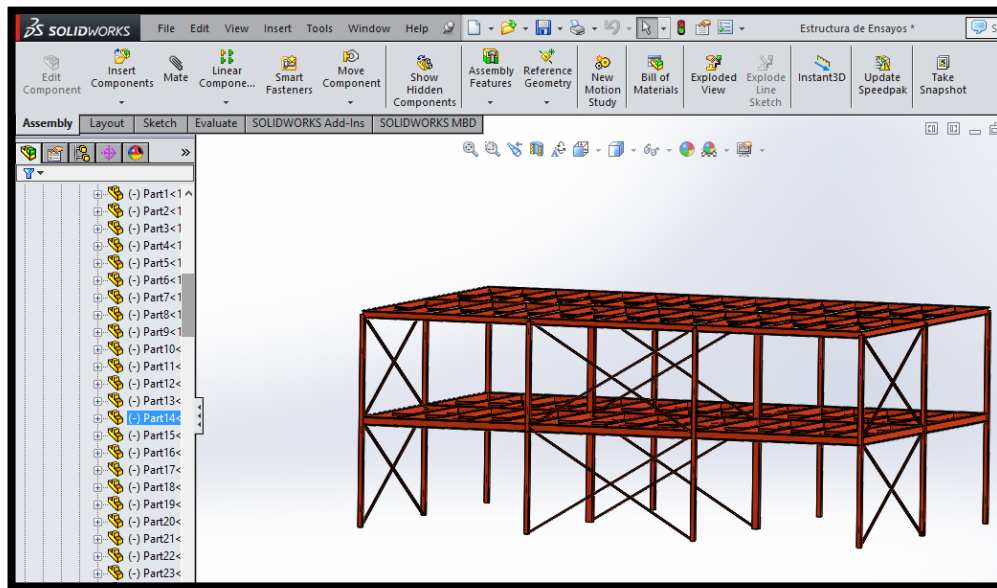


Figura 52. Importación de modelo IFC a SolidWorks.

## 6.2 Estructura comercial

Esta estructura debe diseñarse de manera tal, que junto con el carro y el riel, sean en su conjunto un solo sistema, para poder ser comercializado e instalado en cualquier industria que desee adquirir este sistema de transporte elevado.

Esta estructura debe soportar el riel y carro, debe ser de fácil instalación y montaje.

Esta estructura también se instalará en la nave industrial, para ser expuesta ante los clientes, y visualicen su funcionamiento.

La estructura consistirá en un sistema de pilares, cada uno constituido por un perfil HEB a los que se unen las ménsulas, encargadas de soportar el riel, formado por una serie de perfiles IPE. Esta estructura fue realizada en para su análisis en Cype3d, pero para la realización del proyecto, su diseño, planos e introducirlo en la metodología BIM, se realizó el modelo en SolidWorks, ya que realizar el proceso de exportación-importación de Cype 3d a SolidWorks, implicaba realizar correcciones al modelo, que llevarían mayor cantidad de tiempo que realizarlo directamente en Solidworks, figura 53.

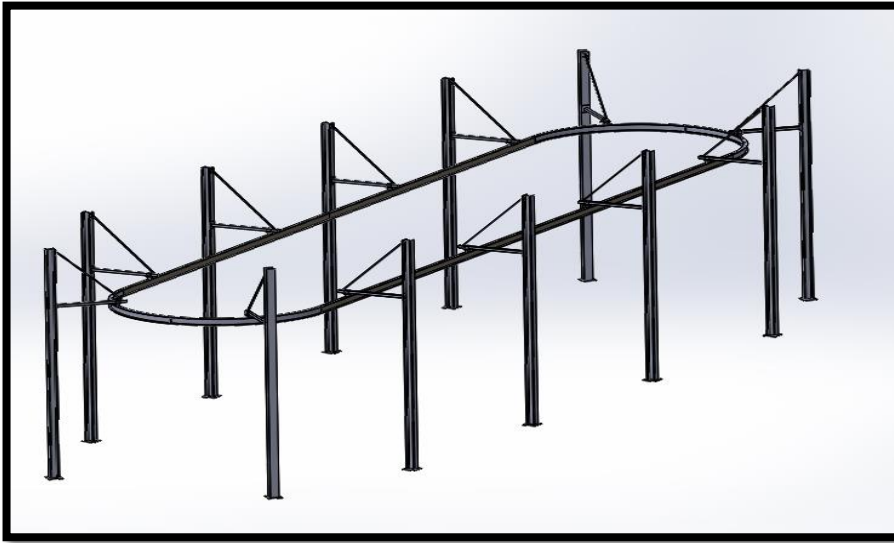


Figura 53: Estructura comercial

Al poder realizar parte de la estructura en SoliWorks, también se aprovecha el modelo, para poder realizar análisis de diseño o comprobación de los elementos, entre ellos la ménsula encargada de soportar la viga carril, figura 54, y el sistema de unión entre la viga y la ménsula, figura 55.

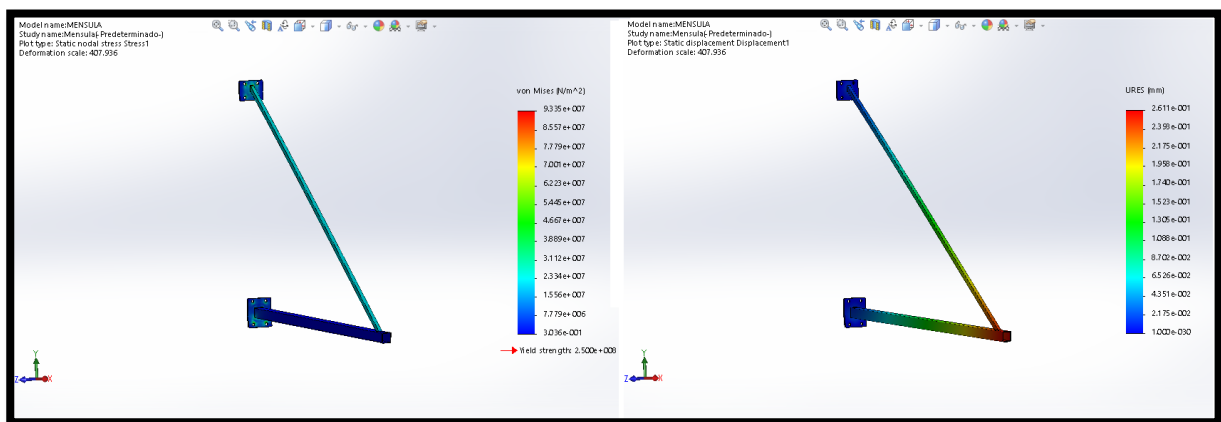


Figura 54: Análisis de la ménsula, por MEF.

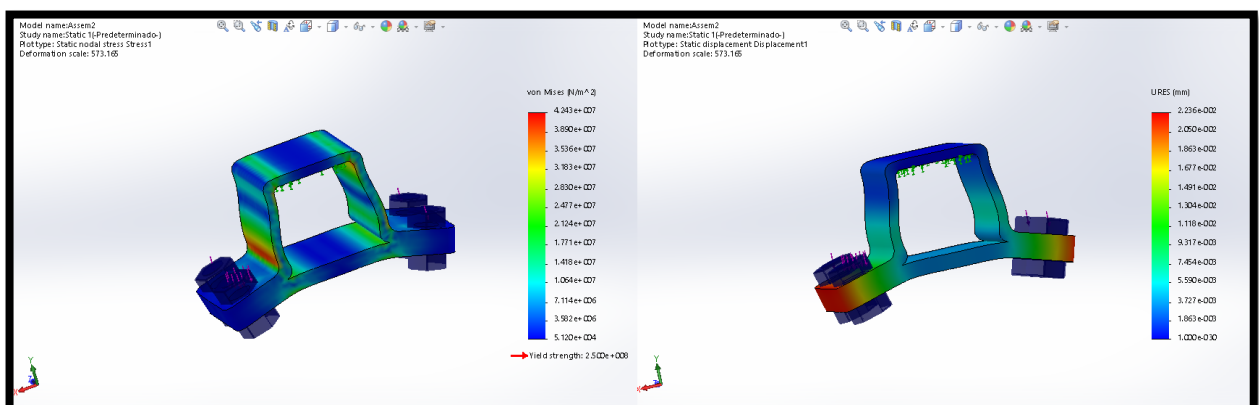


Figura 55: Análisis de unión Estructura-Viga, por MEF.

### 6.3 Detección de interferencias

Una vez realizados los modelos, se realiza análisis de interferencias entre ellos y las partes que las forman.

Para realizar el análisis de interferencia en SolidWorks, hay que dirigirse a la ventana de evaluación, y seleccionamos el ícono Detección de Interferencias, figura 56.

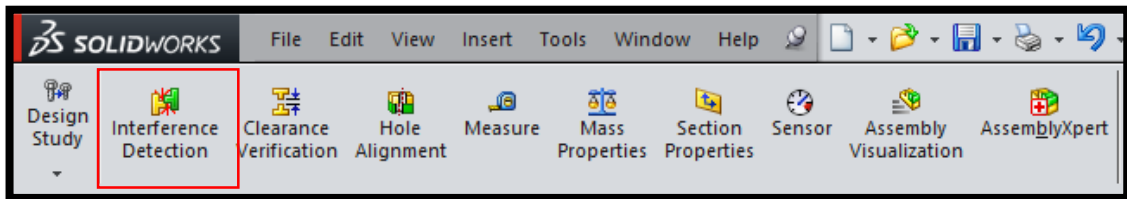


Figura 56: Selección de detección de interferencias.

Luego se escogen las partes de las cuales se desea analizar la interferencia, y se selecciona la opción calcular, figura 57.

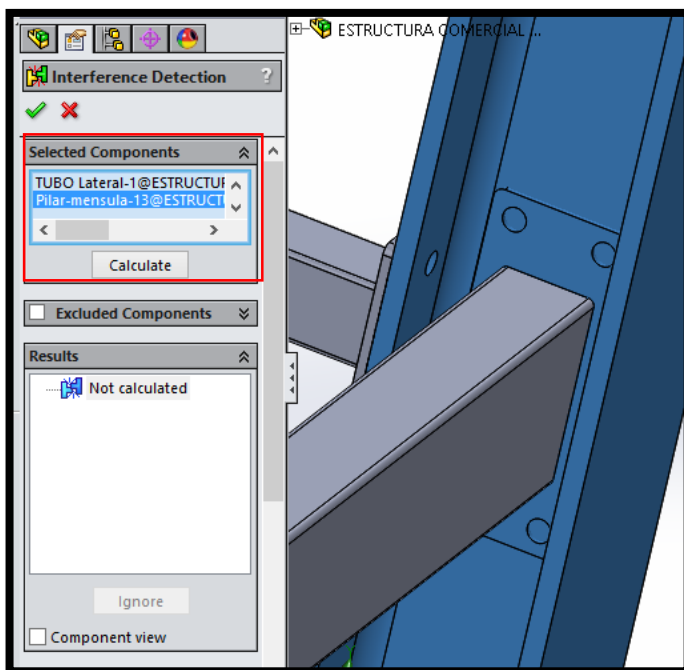


Figura 57: Cálculo de interferencias.

A continuación se obtienen los resultados del análisis, en el cual se señala las piezas que tienen interferencias, ejemplo en la figura 58.

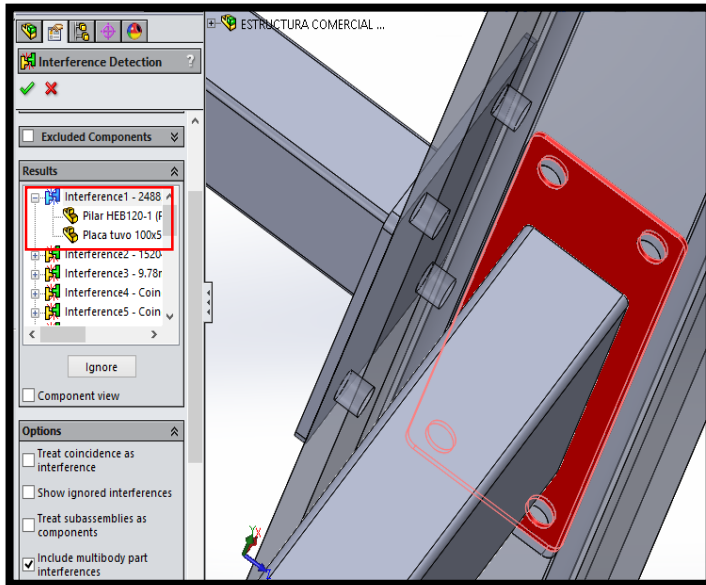


Figura 58: Detección de interferencias.

En la figura 58, se puede observar el mensaje de existencia de interferencia; cuando se soluciona la interferencia, se realiza nuevamente un análisis, general, para verificar que efectivamente no existan interferencias, figura 59.

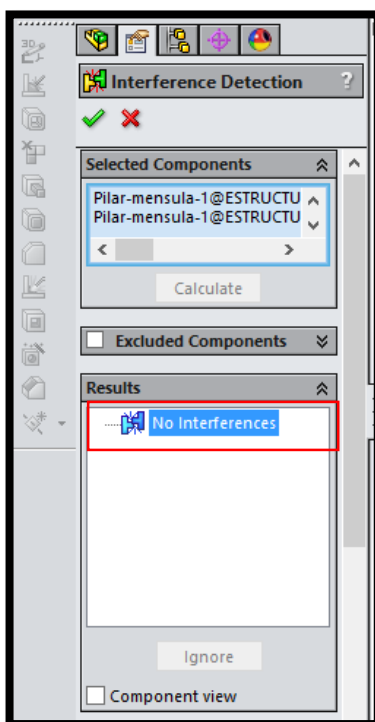


Figura 59: Comprobación de interferencias.

En la figura 59, se puede observar el resultado de análisis de interferencias cuando éstas han sido corregidas, de esta manera queda comprobado el sistema frente al análisis de interferencias.

#### 6.4 Verificación de espaciamentos mínimos.

Es importante verificar que exista separación entre diferentes componentes de la estructura y las instalaciones que por ella pasarán, en el caso particular del presente proyecto se debe verificar que exista una separación mínima entre el bogie y la viga carril. Con este fin se selecciona la herramienta Clearance verificación en la pestaña de evaluación del programa, figura 60.

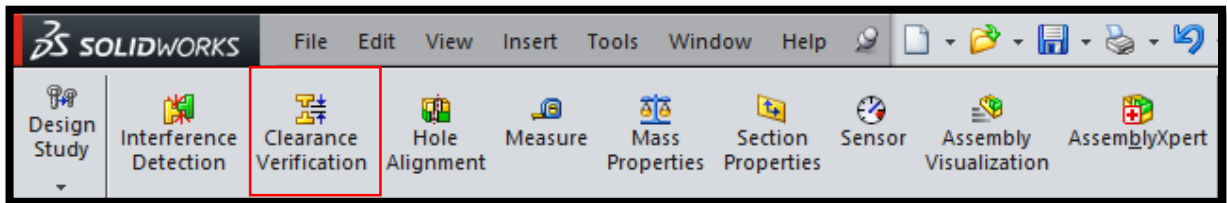


Figura 60: Selección de herramienta Clearance verification.

Luego se selecciona los elementos que se desean analizar, en este caso en particular el bogie y la viga carril, figura 61.

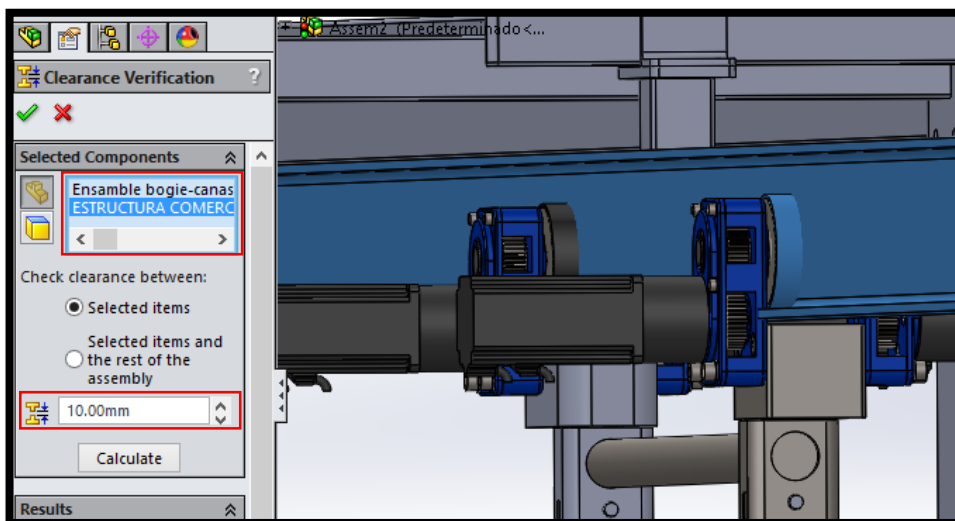


Figura 61: Cálculo de espacios.

En caso de ser necesario la existencia de una distancia mínima establecida entre los elementos a analizar, se debe introducir en el apartado correspondiente, como se puede observar en la figura 61.



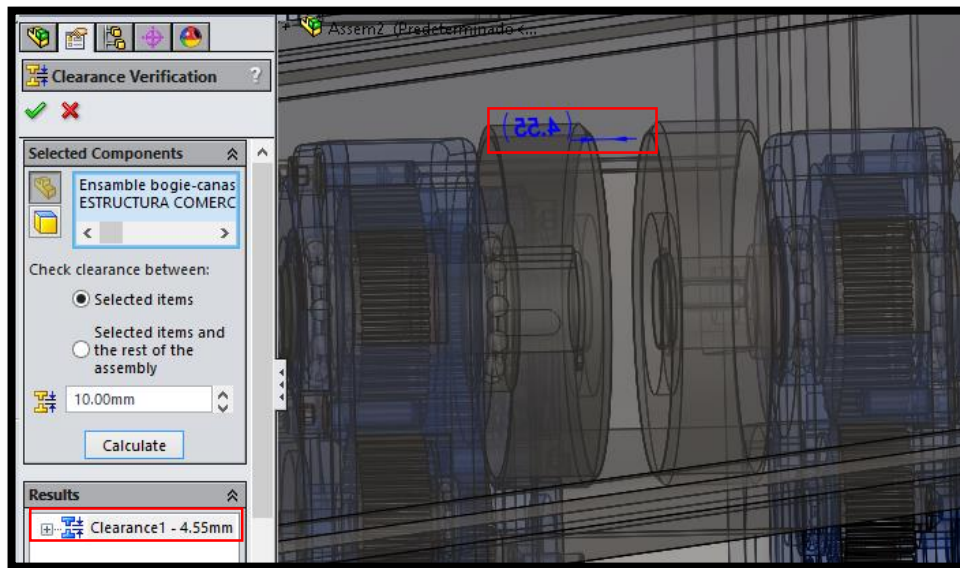


Figura 62: Comprobación de espacios y distancias mínimas.

En la figura 62, se puede apreciar la distancia mínima existente entre el bogie y la viga carril, así se puede garantizar el buen funcionamiento del sistema.

## VII Discusión

### 7.1 Conclusiones

En la actualidad se puede considerar a la metodología BIM, una herramienta plenamente consolidada, que ha demostrado ser eficiente y eficaz en cada una de las etapas del ciclo de vida de un proyecto, que merece y deberá ser implementada.

La tecnología BIM, permite la realización de proyectos multidisciplinarios, a través de un proyecto virtual único, donde se puede observar y consultar la información requerida, por cada área o grupo de trabajo, sin que esta se duplique, incluso evitando la existencia de información incoherente.

La tecnología BIM facilita, la colaboración entre los diferentes grupos o agentes que participan del proyecto.

Esta herramienta facilita la toma de decisiones, permitiendo prever los resultados de la aplicación de la misma.

BIM, permite visualizar los problemas e inconvenientes que se presentarán en las diferentes etapas del proyecto, lo que permite anticiparse tomando la decisión más conveniente, evitando a futuro realizar cambios o modificaciones, en etapas del proyecto donde esto significaría un mayor costo.

Los modelos exportados de Revit a SolidWorks, mediante archivos IFC son fiables, y facilita el uso de la metodología BIM; Sin embargo el proceso de exportación de SolidWorks a Revit, no es aceptable, puesto que los modelos que se desarrollan en SolidWorks poseen elevada complejidad, motivo que dificulta que Revit lo reconozca.

El programa utilizado para diseño industrial (SolidWorks), puede ser utilizado como plataforma BIM, donde se pueden implementar los demás modelos.

A pesar de no existir un plugin bidireccional entre Revit y SolidWorks, el proceso de exportación-importación de Revit a SolidWorks, permite un correcto flujo de información, y satisface las necesidades del proyecto.

La versión utilizada de Cype 3d (v2016 y 2013), no permite la exportación de archivos IFC de manera directa a SolidWorks, sino que se ha de realizar a través de CypeCad, motivo que dificulta un flujo de trabajo óptimo, ya que se deben realizar pasos intermedios que demoran el proceso.

Los modelos que se generaron en Cype 3d, y fueron exportados mediante CypeCad a SolidWorks, poseen errores, entre los que cabe señalar: forjados, uniones y juntas.

La exportación de Cype 3d a Revit, generó un mejor resultado que la de Cype 3d a SolidWorks, en lo que se refiere a forjados, sin embargo mantienen los mismos errores en la exportación de uniones y juntas.

Durante el proyecto se ha verificado, la ventaja de realizar un análisis de interferencia entre los diferentes modelos que intervienen, permitiendo garantizar la instalación y funcionalidad de cada parte del proyecto.

Aunque las diferentes herramientas que se utilicen en la metodología BIM, permitan el uso de archivos IFC, y anuncien su compatibilidad, no satisfacen por entero los propósitos de esta metodología.

Que los programas tengan capacidad de generar archivos IFC, no implica necesariamente que sean totalmente compatibles con el uso de la metodología BIM, y que garanticen un flujo de trabajo sólido.

## **7.2 Recomendaciones**

Realizar un estudio detallado de las necesidades que se presentan en la empresa donde se desea implementar la metodología BIM, para poder seleccionar los programas y herramientas indicados para el correcto flujo y funcionamiento del BIM.

Cuando se haya identificado las características de las herramientas informáticas de BIM, para cada uno de los equipos multidisciplinares, procurar la adquisición o instalación de programas diseñados por una misma empresa de software, que garantice el flujo correcto de información y la compatibilidad plena entre cada uno de los programas.

Procurar que entre los programas seleccionados, exista plugins, que permitan el flujo bidireccional de información.

En caso que los software, sean de empresas de software diferentes, verificar la compatibilidad entre cada uno de ellos, así mismo consultar sobre plugins que permitan un flujo bidireccional de información.

En caso que el despacho de ingeniería haya adquirido programas de diseño con anterioridad a la decisión de implementar BIM, verificar si estos programas se pueden adaptar o utilizar dentro del proceso BIM; en caso que no satisfagan por completo las características necesarias para la implementación BIM, es mejor adquirir un nuevo paquete de software y remplazar los existentes, porque a mediano y largo plazo, generarán mayores inconvenientes que se traducen en mayores y pérdidas.

Cuando se desee realizar trabajos con Cype y Revit, procurar la versión 2017 de Cype, que en la actualidad consta de un plugin que facilita el flujo de trabajo, y aumenta la fiabilidad de los modelos.

Brindar la capacitación necesaria al personal que utilizará la metodología BIM, para garantizar su desempeño óptimo.

## VIII Bibliografía

- Coloma Picó, Eloi, 2008, *Introducción a la tecnología BIM, Barcelona*, Recuperado de [http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/ Introducción a la Tecnología BIM.pdf](http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/Introducción%20a%20la%20Tecnología%20BIM.pdf), 06/2017
- Zaragoza Angulo, José Manuel; Morea Núñez, José Miguel, 2016, *Guía práctica para la implantación de entornos BIM en despachos de arquitectura e ingeniería*, Madrid, editorial Fe d' erratas, segunda edición.
- Kymmell, Willem, 2008, *Building Information Modeling*, Estados Unidos de América, editorial McGraw-Hill.
- Eastman Chuck, Teicholz Paul, Sacks Rafael, Liston Kathleen, 2011, *BIM Handbook*, New Jersey USA, editorial John Wiley & Sons, Inc., segunda edición.
- Deutsch, Randy, 2011, *BIM and integrated Design, strategies for architectural practice*, editorial Wiley & Sons, Inc., USA, New Jersey, Hoboken.
- American Psychological Association, 2010. *Publication manual of the American Psychological Association*, sexta edición, Washinton, D.C
- Budynas, Richard; Nisbett, Keith, Nisbett, 2008, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, editorial McGraw-Hill, octava edición, México D.F.
- Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, Katheleen, 2011, *BIM handbook, a guide to building information modeling*, editorial Wiley, segunda edición, New Jersey.
- Holzer, Dominik, 2016, *The BIM Manager's Handbook Guidance for professionals in architecture, engineering, and construction*, editorial Wiley, primera edición, New Jersey.
- Krygiel, Eddy; Nies, Bradley, 2008, *Green BIM, successful sustainable design with Building Information Modeling*, editorial Wiley, primera edición, Indianapolis.
- Kensek, Karen; Noble Douglas, 2014, *Building information Modeling, BIM in current and future practice*, editorial Wiley, primera edición, New Jersey.
- Lévy, Francois, 2012, *BIM in small scale, sustainable design*, editorial John Wiley, primera edición, New Jersey
- Jernigan, Finith, 2008, *Big BIM, Little BIM*, editorial salisbury, segunda edición, Maryland.
- Hardin, Brad; Mccol, Dave, 2015, *BIM and construction management, proven tools, methods and workflow*, editorial Wiley, segunda edición, Indianapolis.
- Gasch Salvador, Manuel; Gasch Molina, Isabel, 2006, *Cálculo estructural*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, primera edición Valencia.
- Hurtado Mingo, Constantino; Fernández Pascual, Fidel; Asensio Mingo, Manuel; Vega, Ruth, 2008, *Estructuras de acero en edificación*, publicaciones APTA, España.

- Argüelles, Ramón; Arriaga Francisco; Argüelles José María, 2007, *Estructuras de acero, uniones y sistemas estructurales*, editorial Bellisco, segunda edición, Madrid.
- Reyes, Antonio, 2013, *Cypecad MEP, instalaciones del edificio*, editorial Anaya, primera edición, Madrid
- Centro de publicación, Secretaria General Técnica, Ministerio de Fomento, 2012, *EAE, instrucción de Acero Estructural, con comentarios de los miembros de la comisión permanente de estructuras de acero*, Serie normativa, España.
- Ministerio de vivienda, 2016, *CTE, Código Técnico de la Edificación*, Editorial Tecnos, séptima edición, España
- Stan Augarten, Ticknor y Fields, 1984, *An Illustrated History of Computers*, New York, USA, Recuperado de <http://ds-wordpress.haverford.edu/bitbybit/bit-by-bit-contents/chapter-seven/7-3-sage-semi-automatic-ground-environment-computers/>
- Chris Roth, 2013, *Before There Was Visio, There Was SketchPad*, Recuperado de <http://www.visguy.com/2013/11/19/sketchpad/>
- Building Smart, Spanish Chapter, 2017, *Qué es BIM?*, Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/bim/>, 2017
- Begoña Fuetes Giner, 2014, *Impacto de BIM en el proceso constructivo Español*, Cuadernos Eubim, Valencia, España.
- Masip, Jaume, 2017, *BIM un año después*, Recuperado de <http://www.bimbarcelona.com/bim-un-ano-despues/>. 2017
- Sánchez Ortega, Agustín, 2016, *¿QUÉ ES EL LOD?*, Recuperado de <https://www.espaciobim.com/que-es-el-lod-nivel-de-detalle/>
- Cype Ingenieros, 2017, *Complemento Open BIM para Revit*, Recuperado de <http://plugin-openbim-revit.cype.es/>, 2017